

GUIDE

DES MÉTHODES DE DIAGNOSTIC

écologique des
milieux naturels

Application aux sites de carrière

Ont participé à la rédaction de ce document

Yves ADAM (UNPG)
Christian BÉRANGER (UNPG)
Olivier DELZONS (SPN/MNHN)
Bernard FROCHOT (Président de Bourgogne-Nature)
Johan GOURVIL (ENCEM)
Patrick LECOMTE (UNPG)
Marion PARISOT-LAPRUN (ANVL/Association des Naturalistes de la Vallée du Loing)

avec le concours de

Farid BENSETTITI (SPN/MNHN)
Alain CANARD (Université de Rennes, SPN/MNHN)
Xavier CUCHERAT (Picardie Nature)
Jean-Christophe de MASSARY (SPN/MNHN)
Olivier ESCUDER (SPN/MNHN)
Olivier GARGOMINY (SPN/MNHN)
Vincent GAUDILLAT (SPN/MNHN)
Arnaud HORELLOU (SPN/MNHN)
Jean-Christophe KOVACS (ÉCOSPHÈRE)
Gérard LUQUET (SPN/MNHN)
Pierre NOËL (SPN/MNHN)
Vincent PRIÉ (BIOTOPE)
Jean-Philippe SIBLET (SPN/MNHN)
Olivier VERDIER (ENCEM)

et la contribution particulière de

l'Association Française Interprofessionnelle des Écologues (AFIE)

Référence bibliographique du présent ouvrage

Auteurs : Adam Y., Béranger C., Delzons O., Frochot B., Gourvil J., Lecomte P., Parisot-Laprun M.
Année : 2015
Titre : « Guide des méthodes de diagnostic écologique des milieux naturels - Application aux sites de carrière »
UNPG, 3 rue Alfred Roll 75849 - Paris Cedex 17 - environnement@unicem.fr

Maquette : Sonia LANDREAU

Relecture et corrections : Ginette CHARRON

Recherche iconographique : Marion LE GOFFIC

SOMMAIRE

PRÉAMBULES de l'UNPG, du MNHN, de l'AFIE	7
Partie 1 – CONTEXTE ET GÉNÉRALITÉS	11
A) POURQUOI CE GUIDE ?	13
B) DES MÉTHODES DE DIAGNOSTIC ÉCOLOGIQUE DES MILIEUX NATURELS : POUR QUELS USAGES ?	17
Les domaines d'application	18
1) Investigations préliminaires (ou pré-diagnostics)	20
2) Étude d'impact	21
3) Étude d'incidence Natura 2000	28
4) Étude d'incidence « loi sur l'eau »	32
5) Demande de dérogation sur des espèces protégées	35
6) Élaboration et suivi d'un plan de gestion d'espèces ou d'espaces	40
7) Élaboration et suivi d'un plan de surveillance de la qualité d'un espace	41
8) Programmes d'acquisition de données sur le patrimoine naturel	42
9) Approche environnementale dans le cadre de l'élaboration d'un schéma d'aménagement	42
C) CHOIX DES MÉTHODES DE DIAGNOSTIC ÉCOLOGIQUE DES MILIEUX NATURELS	45
C.1. Quelles approches et quel déroulement pour établir un diagnostic des milieux naturels ?	46
C.2. Choix des méthodes de diagnostic écologique	50
1) Choix des méthodes selon le type d'étude	50
2) Choix des méthodes selon l'objectif et les priorités de l'étude	51
3) Choix des méthodes selon l'échelle géographique	52
4) Choix des méthodes selon le type de carrière	53
D) QUELQUES PRINCIPES À RESPECTER : PÉRIODES DE PROSPECTION, RÉGLEMENTATION, PRÉCAUTIONS	55
E) EXEMPLE FICTIF	59
1) Présentation du site envisagé par le projet d'extraction	60
2) Investigations préliminaires	60
3) Redéfinition du projet	61
4) Définition du secteur d'étude	61
5) Diagnostic écologique	62
6) Étude d'impact	62

F) BIBLIOGRAPHIE	63
Partie 2 - FICHES MÉTHODOLOGIQUES	69
Les approches générales	73
1 - Méthodes - Généralités	75
2 - Transects	83
3 - Capture - marquage - recapture	87
4 - Enlèvements successifs	93
5 - Bio-indication	97
6 - Continuité écologique	105
Les outils concernant la flore et la végétation	111
7 - Flore et végétation	113
8 - Communautés végétales et habitats	125
Les outils concernant la faune	133
 Invertébrés (hors insectes)	
9 - Mollusques	135
10 - Araignées	143
11 - Écrevisses	151
12 - Macroinvertébrés aquatiques	157
 Invertébrés/insectes	
13 - Insectes/généralités	167
14 - Odonates (libellules)	179
15 - Orthoptères (criquets/sauterelles)	185
16 - Coléoptères carabidés	191
17 - Coléoptères saproxyliques	197
18 - Hyménoptères apoïdes (abeilles solitaires et bourdons)	205
19 - Fourmis rouges	209
20 - Syrphes	213
21 - Rhopalocères (papillons de jour)	219
22 - Hétérocères (papillons de nuit)	225
 Vertébrés	
23 - Inventaire qualitatif des poissons	229
24 - Quantification des poissons	233
25 - Inventaire qualitatif des amphibiens	241
26 - Quantification des amphibiens	249
27 - Reptiles	257
28 - Inventaire qualitatif des oiseaux	263
29 - Quantification des oiseaux	269
30 - Grands mammifères	283
31 - Chiroptères	289
32 - Micromammifères	297

SOMMAIRE

Les indices	303
33 - Indice biologique global normalisé (IBGN)	305
34 - Indice biologique macrophytique en rivière (IBMR) et Indice biologique macrophytique en lac (IBML)	313
35 - Indice poissons rivière (IPR)	321
36 - Indice de biodiversité des étangs et des mares (IBEM)	327
37 - Indice mollusques (IMOL)	331
38 - Indice phytoplancton lacustre (IPLAC)	335
39 - Indice biologique diatomées (IBD)	341
40 - Indice oligochètes de bio-indication lacustre (IOBL)	347
41 - Indice oligochètes de bio-indication des sédiments (IOBS)	351
42 - Diagnostic de qualité de l'air (lichens)	357
ANNEXE A - Zonages et espèces d'intérêt écologique	365
ANNEXE B - Valeur patrimoniale	371
GLOSSAIRE	379
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	387

Face aux enjeux multiples liés à l'érosion de la biodiversité, avec la prise en compte de sa préservation dans les politiques publiques, en particulier avec les Trames Vertes et Bleues, ou encore le renforcement du contenu des études d'impact, les expertises des milieux naturels doivent s'appuyer sur des méthodes rigoureusement reconnues.

Ainsi l'UNPG a confié au Muséum National d'Histoire Naturelle et à l'Association Française Interprofessionnelle des Écologues l'élaboration d'un guide sur les méthodes de diagnostic écologique des milieux naturels.

Cet ouvrage s'attache à décrire précisément de nombreux protocoles selon les types de milieux, applicables pour les études d'impact comme pour les suivis écologiques d'exploitation, de réaménagements ou de mesures compensatoires. Il s'appuie sur des fiches méthodologiques selon les groupes (flore, insectes, reptiles, ...) et en fonction des problématiques étudiées (valeur patrimoniale, continuité écologique,...).

Il est destiné à un grand nombre d'acteurs (acteurs économiques, bureaux d'études, gestionnaires d'espaces naturels, ...) et permet de mener une expertise écologique scientifique et proportionnée aux enjeux du projet dans son territoire.

L'approche naissante des services écosystémiques et de leurs valeurs, la combinaison entre écologie et paysage ou encore, les relations entre la biodiversité et les dérèglements climatiques sont autant de nouveaux défis auxquels il faudra répondre par des analyses pertinentes et partagées.

Ce document vient compléter les travaux menés en collaboration étroite avec le monde scientifique depuis plus de 20 ans sur l'amélioration des connaissances relatives aux effets et potentialités des carrières. Il s'inscrit pleinement dans l'engagement de l'UNPG à la Stratégie Nationale pour la Biodiversité et répond aux ambitions nécessaires et légitimes de la Profession pour concilier les enjeux de la préservation de la biodiversité et du développement durable des activités économiques.

Christian BÉRANGER
Président de la Commission Environnement de l'UNPG

L'importance de la biodiversité comme élément vital pour l'humanité semble aujourd'hui admise même si la transcription politique de ce paradigme reste encore trop soumise aux aléas économiques et qu'elle semble parfois une variable d'ajustement dans les politiques publiques. Néanmoins la réglementation en matière de prise en compte des espèces et des habitats naturels n'a jamais cessé de se complexifier depuis la Loi fondatrice sur la protection de la nature de juillet 1976. Et les différents acteurs, au premier rang desquels figurent les entreprises, se trouvent confrontés à l'obligation d'appliquer des textes sans pouvoir toujours réellement comprendre leur portée et les modalités de leur application. À l'identique, les services publics chargés des missions de police sont souvent démunis face au développement de méthodologies ésotériques, ou de dispositifs mal maîtrisés. Enfin, les bureaux d'études chargés de mettre en œuvre la réglementation pour le compte des donneurs d'ordre publics ou privés sont eux-mêmes confrontés à l'utilisation de nombreux « outils » dont ils ne mesurent pas toujours les limites de l'application au regard des moyens financiers alloués. Cela contribue à une réelle discrimination entre les propositions d'études faites par les experts auprès des commanditaires.

L'ouvrage que vous avez entre les mains tente de tracer un chemin dans la jungle des procédés, des méthodes et des évaluations relatifs à l'étude de la faune, de la flore et des habitats. Il vise à permettre de mieux comprendre comment et pourquoi ces outils ont été conçus et surtout à quelles questions ils permettent de répondre. Il constitue un vade-mecum à l'usage des professionnels qui souhaitent optimiser leurs commandes ou leurs réponses. Soyons clairs, il ne s'agit pas ici d'essayer de renverser les rôles. Chacun doit être à sa place dans la fonction qu'il occupe. Mais le partage d'une culture de base commune ne peut que favoriser les échanges et la compréhension mutuelle, ferment d'une meilleure application des textes réglementaires et d'une plus grande appropriation des problématiques.

Ce guide se veut avant tout pratique. Mais il ne revendique pas d'être d'une utilisation facile. Il nécessitera du lecteur un effort minimal pour entrer dans la logique de sa conception. Mais l'effort sera sans nul doute récompensé pour celui qui s'en donnera la peine. Il faut remercier ici tous ceux qui, de près ou de loin, ont permis à cet ouvrage d'exister : auteurs, relecteurs, metteurs en page, financeurs. Ce document constitue un des ouvrages les plus aboutis sur ces questions complexes. J'espère qu'au fur et à mesure de son usage, vous partagerez ce constat. Merci à l'UNPG et à l'AFIE de cette collaboration fructueuse !

Jean-Philippe SIBLET
Directeur du Service du Patrimoine Naturel
Muséum National d'Histoire Naturelle

Paris, le 27 juillet 2015

Si les exploitations de carrières sont sources d'impact sur l'environnement, les sites correctement réaménagés constituent quant à eux de véritables réservoirs de faune et de flore. Prenant progressivement conscience de leurs responsabilités en matière de préservation de la biodiversité, les carriers ont compris qu'un état des lieux de qualité était la base de la compréhension du fonctionnement des milieux naturels et le fondement de toute étude écologique. On ne s'étonnera donc pas de retrouver aujourd'hui l'Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG) en première ligne sur les questions de méthodes de diagnostic écologique, ce thème méritant bien un guide à part entière.

En sollicitant la contribution de l'AFIE (Association Française Interprofessionnelle des Écologues), l'UNPG avait la volonté d'ancrer son projet dans une réalité opérationnelle. Établie depuis 1979, notre association est constituée d'un réseau de professionnels travaillant dans le secteur de l'écologie appliquée au sein de structures associatives, publiques ou privées. Nous avons ainsi été à même d'apporter le retour d'expérience, le savoir-faire et toute l'expertise de nos membres pour la structuration du sujet, la définition de ses contours et la première version du guide technique.

La parution de cet ouvrage contribue pleinement aux objectifs de l'AFIE, dont la vocation est de promouvoir les compétences et les savoir-faire en ingénierie écologique pour la prise en compte des enjeux de préservation du patrimoine naturel, dans tous les secteurs d'activités. Ce guide délivre les éléments de contexte essentiels pour la compréhension du sujet par tous et synthétise, dans ses fiches techniques, la connaissance la plus poussée pour la mise en œuvre des méthodes de diagnostic.

Ce guide nous rappelle ainsi que pour traiter d'un sujet aussi complexe que la biodiversité, la collaboration de tous est nécessaire et le recours à des experts indispensable. D'un projet ambitieux, l'UNPG a su faire un guide pratique qui, grâce à sa large diffusion, permettra d'accroître les compétences du lecteur.

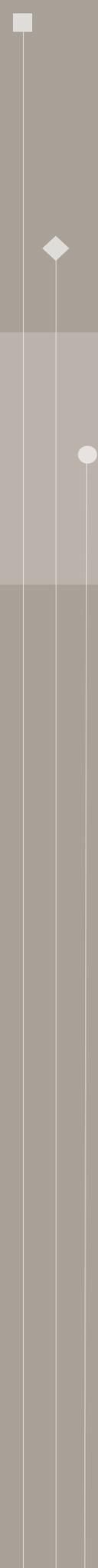
Nous tenons à remercier l'ensemble des auteurs pour leur implication, la qualité du travail et de la rédaction. L'effort considérable de synthèse et de pédagogie permettra à tous de s'approprier son riche contenu. Nous nous réjouissons donc de la parution d'un tel ouvrage et nous félicitons d'avoir pu y contribuer.

Puisse-t-il trouver sa place sur le bureau de tous les acteurs de la biodiversité et de l'aménagement du territoire, aussi divers et variés soient-ils, afin de nous permettre de progresser dans l'atteinte des objectifs de préservation de notre patrimoine naturel.

Le chantier est vaste, mais nous sommes désormais bien outillés.

Louis-Philippe BLERVACQUE (Président AFIE)
Blanche GOMEZ (vice-présidente)





PARTIE 1

Contexte et généralités



Pourquoi ce guide ?

Pourquoi ce guide ?

De l'intérêt de disposer de méthodes de diagnostic écologique reconnues et partagées

Un diagnostic écologique vise à dresser l'état des lieux et à comprendre le fonctionnement des écosystèmes pour identifier tous les éléments susceptibles d'orienter l'aménagement et la gestion de l'espace concerné. Ce diagnostic s'effectue à l'aide de méthodes précises.

Les connaissances du milieu naturel ont beaucoup progressé, de même que l'arsenal réglementaire français et européen en matière de protection des espèces et des milieux qui tend à définir un cadre plus strict par rapport au développement des activités économiques. Les professions concernées et les bureaux d'études ont donc souhaité pouvoir disposer de méthodes de diagnostic, de « règles de l'art » validées et reconnues.

Dans le cadre de l'activité carrière, de nombreux outils d'évaluation des écosystèmes (outils de caractérisation, de prédiction, de suivi et de surveillance des milieux naturels) sont utilisés lors :

- d'un projet d'ouverture (étude d'impact, étude d'incidences Natura 2000...),
- du suivi des impacts sur le milieu naturel pendant l'exploitation,
- de la mise en œuvre et de la validation d'un réaménagement.

Ces outils ont alors pour objectifs assignés :

- d'analyser, avant et pendant l'exploitation ou après le réaménagement, pour chaque site, sa valeur écologique (son rôle dans l'environnement) et sa valeur patrimoniale (sa biodiversité et la rareté des espèces et milieux qu'il recèle) ;
- de définir éventuellement les secteurs à préserver ;
- de suivre qualitativement les impacts des travaux réalisés ;
- de prévoir la réponse d'un milieu à un stress.

Le monde scientifique et les entités qui interviennent dans l'aménagement du territoire (industriels, bureaux d'études, associations, gestionnaires de milieux naturels...) se font l'écho de deux types de difficultés principales :

- les outils d'évaluation des écosystèmes opérationnels sont trop peu nombreux et il y a un manque de méthodes scientifiques standardisées ;
- les outils existants présentent parfois des modalités d'application inadaptées aux contraintes du terrain (outils trop coûteux, trop longs à mettre en œuvre, trop sectoriels, peu prédictifs, parfois non actualisés...).

Enfin, bien que divers outils soient aujourd'hui clairement définis (relevés phyto-sociologiques, indice ponctuel ou kilométrique d'abondance pour les oiseaux, indice biologique global normalisé...), il existe peu d'ouvrages regroupant ces méthodes. Le présent guide, élaboré à l'initiative de la profession des industries de carrières, vient répondre à ces attentes et constitue donc une première.

Un guide pour mettre en commun des savoir-faire

L'idée a donc été lancée d'inventorier les méthodes de diagnostic, d'en faire la synthèse afin d'en circonscrire les domaines et les limites d'application et de les regrouper dans un guide pratique.

Un premier travail avait été initialement confié à l'Association française des Ingénieurs écologues (AFIE) qui avait alors fait appel à son réseau de membres et partenaires réguliers. Les experts de ce réseau sont amenés à utiliser, dans leur pratique professionnelle quotidienne, des outils d'évaluation des milieux naturels et des écosystèmes, à comparer les différentes méthodes existantes, à mesurer leurs difficultés d'application, leur portée, leurs limites. Ce travail a été poursuivi, dans un second temps, par le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), Service du Patrimoine naturel (SPN).

Ce guide présente, sous forme de fiches méthodologiques techniques, une synthèse du savoir-faire actuel en matière de méthodes de diagnostic écologique des milieux. Il recense les principales méthodes mises en œuvre par les praticiens et ne préjuge pas de savoir-faire spécifiques mis au point et utilisés localement par des opérateurs de terrain. La complexité de l'analyse des milieux naturels implique le recours à des techniciens et experts pour la mise en œuvre des méthodes et leur interprétation.

Ce guide est amené à évoluer et à s'enrichir régulièrement des nouvelles méthodes mises au point par la recherche et les praticiens.

Un guide destiné à différents acteurs

Cet ouvrage est destiné à tous les acteurs amenés à évaluer l'impact de projets sur les milieux naturels : entreprises, services de l'État, bureaux d'études, associations...

Il vise à :

- aider :
 - les maîtres d'ouvrage (entreprises, collectivités...) à élaborer et valider les cahiers des charges,
 - les services administratifs lors de l'instruction des projets ;
- permettre aux responsables des entreprises de pouvoir dialoguer avec les spécialistes sur l'adéquation des méthodes utilisées ;
- permettre d'apprécier la qualité et la pertinence des résultats obtenus lors d'une analyse de l'intérêt écologique d'un milieu ;
- permettre de comparer les résultats de plusieurs expertises écologiques réalisées sur un même site mais dans des conditions, à des époques et/ou par des prestataires ou experts différents ;
- définir un programme de suivis écologiques.

Comment consulter ce guide ?

L'ouvrage se structure en deux grandes parties :

- une **première partie générale** précisant :
 - les domaines d'application des différentes méthodes de diagnostic écologique des milieux naturels,
 - les différents types de méthodes de diagnostic écologique,
 - les précautions à prendre, notamment sur le choix des périodes d'investigation ;

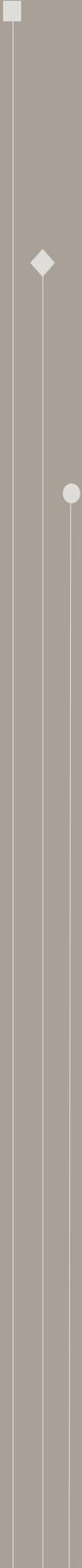
certaines paragraphes de cette première partie peuvent faire référence aux méthodes de diagnostic écologique et ainsi renvoyer à la seconde partie du document ;

- une **seconde partie constituée de fiches**
Ces fiches détaillent les méthodes employées, selon les groupes (flore, insectes, reptiles...), selon la problématique (valeur patrimoniale, continuité écologique...), etc.



Charte Environnement

Charadrius dubius, le petit gravelot est une espèce qui affectionne particulièrement les gravières.



B

Des méthodes de diagnostic écologique des milieux naturels : pour quels usages ?

Des méthodes de diagnostic écologique de milieux naturels : pour quels usages ?

Des grands engagements pris au niveau mondial [Conférence de Rio de 1992 et Convention sur la diversité biologique (CBD)], la mise en place d'une Stratégie nationale pour la biodiversité (SNB) ainsi qu'une déclinaison locale de ces textes, convergent vers une prise en compte accrue de la biodiversité dans les politiques publiques ainsi que dans les processus de décision pour l'autorisation des activités industrielles.

Au cours des différentes étapes de la vie d'un site, il est parfois nécessaire de disposer d'une évaluation de la biodiversité et du fonctionnement des écosystèmes. Cette évaluation est particulièrement requise au niveau des études réglementaires telles que l'étude d'impact, le document d'incidence Natura 2000, etc.

L'évaluation du fonctionnement des écosystèmes et de leur état repose, avant tout, sur l'évaluation de la biodiversité et demande, pour un site donné, de :

- disposer d'une liste des espèces végétales et animales et des habitats en présence, de leur répartition ;
- évaluer les capacités d'évolution et donc d'adaptation des milieux aux perturbations* ;
- connaître les interrelations avec les milieux voisins du site ou plus éloignés ;
- évaluer les enjeux du site en termes de conservation des habitats et espèces présentes et en termes de fonctionnement des écosystèmes.

Cette approche se heurte à un certain nombre de limites :

- le monde vivant est complexe et sa description difficile tant pour les espèces qui le composent que pour leurs relations au sein des écosystèmes ;
- certains groupes d'espèces sont mal connus (par exemple certains insectes) ou demandent des spécialistes très pointus pour leur identification ;
- le fonctionnement des écosystèmes ne se limite pas à la biologie mais inclut également des facteurs édaphiques, climatiques...

Les domaines d'application

Les méthodes d'évaluation écologique des milieux peuvent être utilisées à tous les stades de la vie d'un projet. Ainsi, on peut distinguer les études menées préalablement à la demande d'autorisation et les études menées pendant et après autorisation.

Les études préalables à la demande d'autorisation comportent des investigations préliminaires et des études demandées pour l'autorisation des projets :

- au stade de l'avant-projet, les investigations préliminaires (ou pré-diagnostics) permettent d'apprécier les enjeux écologiques d'un projet pour planifier le déroulement des études ultérieures. Cet aspect est primordial, car de nombreux groupes (plantes, oiseaux, amphibiens, insectes, etc.) ne peuvent être étudiés qu'à une période précise

* Les astérisques figurant dans l'ouvrage renvoient au glossaire et à la liste des acronymes (page 380)



de l'année. Il est donc essentiel d'intégrer ce paramètre dans l'organisation temporelle des études ;

- les études demandées pour l'autorisation des projets concernent les études d'impact ou notices d'impact, l'élaboration du schéma de remise en état écologique d'un site, l'évaluation des incidences au titre de Natura 2000 * et de la loi sur l'eau, les demandes de dérogation sur les espèces protégées...

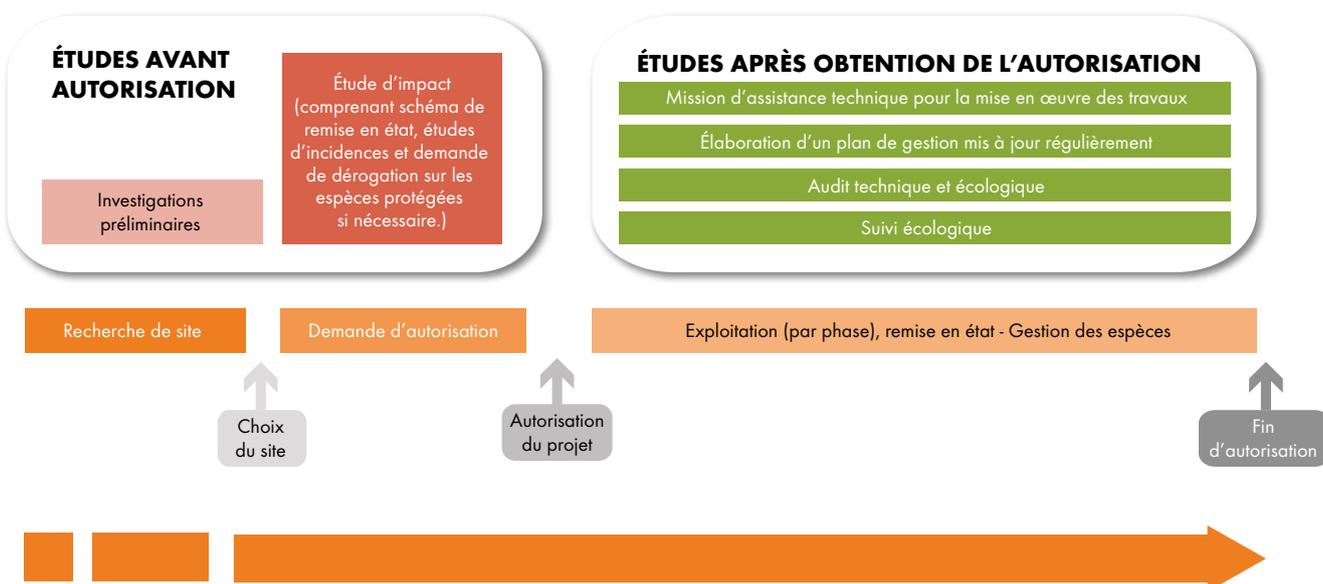
Les études pendant et après autorisation concernent des plans de gestion, des suivis de l'évolution des milieux en cours d'exploitation, le suivi de remise en état et le suivi écologique de sites après exploitation ou de sites ayant fait l'objet de mesures compensatoires, les audits techniques et écologiques correspondant à des expertises ponctuelles sur des problématiques spécifiques.

Ces études écologiques sont réalisées :

- soit dans un cadre réglementaire strict,
- soit dans le cadre d'une démarche volontaire en relation avec les administrations de tutelle (DREAL...), les collectivités locales, les associations de protection de la nature, les riverains...

Figure 1

Principaux types d'études écologiques menées dans le cadre d'un projet avec une durée d'autorisation (d'après ÉCOSPHÈRE, 2008)



1) INVESTIGATIONS PRÉLIMINAIRES (ou pré-diagnostics)

1.1 Objectif

Cette phase a pour but d'aider l'aménageur ou le gestionnaire à identifier le site potentiel qui serait compatible avec son projet. Elle permet d'effectuer une analyse succincte du projet, d'un point de vue technique (élaboration d'un cahier des charges), écologique, réglementaire (statut foncier, statut du gestionnaire, contraintes réglementaires).

Elle permet d'évaluer la sensibilité du site en faisant ressortir les éventuelles contraintes à considérer.

1.2 Mode opératoire

La consultation et l'examen des informations disponibles via les documents (atlas de répartition, publications scientifiques...) et sites Internet de références (INPN, SINP, observatoires régionaux de la biodiversité...) permettent de préciser le contexte du site (zonages d'intérêt écologique : ZNIEFF, sites Natura 2000, aires protégées, espèces menacées et/ou protégées... [fiche 36]).

La visite du site par un expert permet d'établir un pré-diagnostic rapide. Cette visite peut se faire en dehors des saisons les plus favorables aux inventaires, qui se font généralement au printemps ou en début d'été. Dans ce cas, ce sont davantage les grands traits du contexte écologique qui se dessineront.

Le pré-diagnostic permet de définir la zone d'étude pour le projet. Celle-ci doit être suffisamment vaste et englober les unités écologiques susceptibles d'être affectées directement ou indirectement par le projet.

Par ailleurs, lors de cette étape, on peut identifier et recenser les principaux acteurs locaux (chasseurs, pêcheurs, associations naturalistes, gestionnaires d'espaces naturels, etc.).

Lors des investigations préliminaires, le volet écologique porte en général sur les habitats naturels, la flore et l'avifaune.

Ces thèmes sont développés dans les fiches :

- habitats naturels [fiche 8]
- flore [fiche 7]
- oiseaux [fiche 28].

2) ÉTUDE D'IMPACT

2.1 Objectif

L'étude d'impact doit faciliter la prise de décision des autorités administratives, en précisant la nature du projet, ses impacts potentiels et les mesures envisagées. L'enquête publique permet de faciliter la diffusion des informations.

Au-delà de son caractère obligatoire, l'étude d'impact doit aussi être comprise comme un outil au service d'un projet et un support de réflexion.

2.2 Cadre réglementaire

L'article L122-1 du Code de l'environnement précise :

« Les projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements publics et privés qui, par leur nature, leurs dimensions ou leur localisation sont susceptibles d'avoir des incidences notables sur l'environnement ou la santé humaine sont précédés d'une étude d'impact.

Ces projets sont soumis à étude d'impact en fonction de critères et de seuils définis par voie réglementaire et, pour certains d'entre eux, après un examen au cas par cas effectué par l'autorité administrative de l'État compétente en matière d'environnement.

Pour la fixation de ces critères et seuils et pour la détermination des projets relevant d'un examen au cas par cas, il est tenu compte des données mentionnées à l'annexe III de la directive 85/337/CEE du Conseil du 27 juin 1985 concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement. »

Conformément aux dispositions des articles L311-1 à L314-14 et R311-1 à R314-5 du Code forestier, lorsque la réalisation d'une opération ou de travaux soumis à autorisation administrative nécessite un défrichement, l'autorisation de défrichement doit être obtenue préalablement à la délivrance de cette autorisation administrative, excepté pour les opérations prévues par la loi du 19 juillet 1976 relative aux installations classées énumérées au titre 1^{er} du livre V du Code de l'environnement dont les carrières font partie. Cf. article L311-5 du Code de l'environnement . En revanche, l'autorisation de défrichement doit être obtenue avant le permis de construire éventuellement nécessaire.

Si l'implantation d'une installation classée nécessite l'obtention d'une autorisation de défrichement, les deux demandes doivent être déposées concomitamment, la demande d'autorisation devant être accompagnée ou complétée dans les dix jours suivant sa présentation par la justification du dépôt de la demande d'autorisation de défrichement et vice-versa.

En vue d'assurer la transposition complète de la directive européenne du 27 juin 1985 sur les études d'impact, le décret du 30 avril 2009 définit une procédure pour l'évaluation environnementale d'un projet public ou privé.

Une circulaire ministérielle du 3 septembre 2009 précise les modalités d'application de cette procédure.

L'étude d'impact fait donc l'objet d'une évaluation environnementale qui prend la forme d'un avis.



R. Lecomte (Encem)

Des méthodes de diagnostic écologique de milieux naturels : pour quels usages ?

L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE

Définition

L'évaluation environnementale d'un projet ou d'un plan/programme consiste à intégrer les enjeux environnementaux tout au long de sa préparation et du processus décisionnel qui l'accompagne : c'est une aide à la décision. Elle rend compte des effets prévisibles et permet d'analyser et de justifier les choix retenus au regard des enjeux identifiés. Elle vise ainsi à prévenir les dommages, ce qui s'avère en général moins coûteux que de gérer ceux-ci une fois survenus. L'évaluation environnementale est une démarche qui doit donc être pensée le plus en amont possible.

L'évaluation environnementale est de portée générale et concerne tous les aménagements, ouvrages et travaux soumis à étude d'impact, et notamment les projets d'installations classées relevant du régime de l'autorisation.

Objectif

L'objectif de cette nouvelle procédure est d'améliorer l'information du public sur les projets, le contenu et la qualité des études d'impact.

L'autorité environnementale de l'État, représentée le plus souvent par la DREAL, va rendre un avis sur la qualité de ce rapport et sur la prise en compte de l'environnement dans le plan/programme/projet avant l'enquête ou la consultation publique. Cet avis consultatif vise à éclairer le public pendant ces phases de concertation.

L'évaluation environnementale doit appréhender l'environnement dans sa globalité (ressources, biodiversité, risques naturels ou technologiques, énergie, patrimoine, aménagement et gestion du territoire, santé, paysages...).

Cette démarche s'illustre notamment par les points suivants :

- tout projet soumis à étude d'impact (et notamment les ICPE soumises à autorisation) doit désormais faire l'objet d'une évaluation environnementale de l'étude d'impact, nonobstant les procédures existantes qui restent applicables ;
- l'évaluation environnementale prend la forme d'un avis sur l'étude d'impact, dont le contenu n'est pas modifié ;
- l'avis porte sur la qualité de l'étude d'impact et la manière dont l'environnement est pris en compte dans le projet présenté par le pétitionnaire.

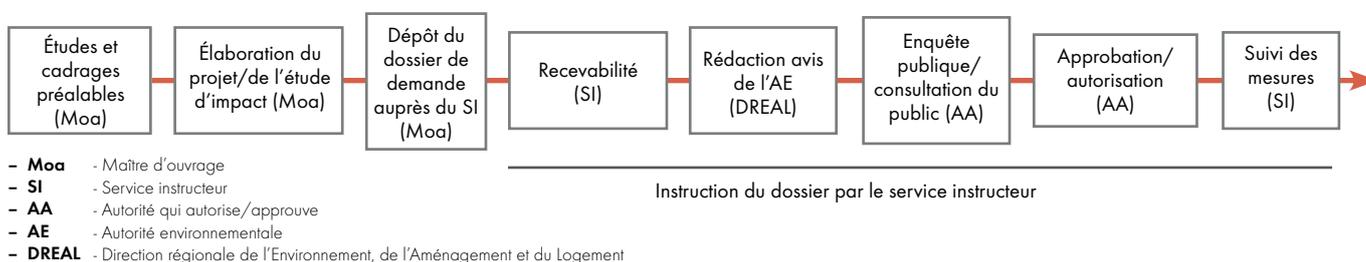
Procédure

L'avis doit être émis par l'autorité environnementale qui, en matière d'installations classées, est le préfet de région. Son avis est préparé par la DREAL.

Cette démarche d'évaluation environnementale s'organise en plusieurs étapes :

- transmission par le porteur de plan/programme/projet ou le maître d'ouvrage des premiers éléments de son dossier afin d'obtenir, de l'autorité compétente pour prendre la décision d'autorisation, un cadrage préalable sur les principaux enjeux environnementaux de prescription spécifiques à étudier ;
- réalisation par le porteur du rapport environnemental (plan/programme) ou de l'étude d'impact (projet) ;
- l'autorité environnementale accuse réception du dossier et émet dans un délai fixé un avis portant à la fois sur la qualité de l'étude d'impact et sur la manière dont l'environnement est pris en compte ;
- cet avis doit figurer dans les documents soumis à consultation du public dans le cadre de l'enquête publique ou d'une autre procédure de consultation qui en tient lieu. Le pétitionnaire explique la manière dont cet avis a été intégré, au même titre que ceux émis lors de l'enquête publique.

Schéma général de la démarche d'évaluation environnementale pour les plans et les projets - les étapes importantes



À noter que l'autorisation ICPE vaut autorisation loi sur l'eau et que les éléments d'incidence sur l'eau doivent être inclus dans l'étude d'impact.

2.3 Contenu

Le contenu de l'étude d'impact doit être en relation avec l'importance de l'opération projetée et avec ses incidences prévisibles sur l'environnement, au regard des intérêts visés aux articles L211-1 et L511-1 du Code de l'environnement.

Le contenu de l'étude d'impact ICPE est spécifique. Il est défini par les dispositions des articles R122-5 et R512-8. » (cf. aussi articles R512-2 et suivants du Code de l'environnement).

• Principaux éléments de l'étude d'impact

L'étude d'impact doit contenir notamment :

- une **analyse de l'état initial** portant notamment sur la population, les habitats naturels, agricoles et forestiers (faune, flore et habitats) ;
- une **analyse des effets** positifs et négatifs, directs et indirects, temporaires et permanents du projet sur l'environnement, et en particulier sur la faune et la flore ;
- une esquisse des principales solutions de substitution examinées par le pétitionnaire et les raisons pour lesquelles, eu égard aux effets sur l'environnement ou la santé humaine, le projet présenté a été retenu ;
- les **mesures envisagées** pour éviter, réduire, ou si nécessaire compenser les effets prévisibles ;
- les conditions de remise en état du site après exploitation ;
- une analyse des méthodes utilisées pour évaluer les effets de l'installation sur l'environnement mentionnant les difficultés éventuelles de nature technique ou scientifique rencontrées pour établir cette évaluation ;
- **un résumé non technique.**

2.4 Mode opératoire pour le volet « milieux naturels »

a) Phase de pré-cadrage

La mise en exergue des principaux enjeux écologiques et réglementaires du site permet de localiser les zones les plus fragiles, susceptibles d'être fortement affectées, ou soumises à de fortes contraintes (présence d'espèces protégées ou patrimoniales par exemple).

L'étude se déroule généralement en plusieurs étapes successives :

- un cadrage préalable,
- une phase de diagnostic proprement dite,
- une analyse synthétique des enjeux, leur hiérarchisation, avec un rendu cartographique.

Un premier état des lieux est dressé [annexe A], notamment en interrogeant la bibliographie et les inventaires et zonages d'espaces naturels (zonages réglementaires, ZNIEFF, etc.).

Des méthodes de diagnostic écologique de milieux naturels : pour quels usages ?

Les compartiments biologiques à étudier en priorité sont ainsi listés. Il s'agit le plus souvent :

- de la flore vasculaire (plantes à fleurs et fougères), parfois des mousses et des lichens ;
- de certains groupes de faune : oiseaux (nicheurs en particulier), amphibiens, reptiles, mammifères, insectes comme les odonates (libellules), les orthoptères (sauterelles), les lépidoptères (papillons) ;
- divers organismes aquatiques (poissons, invertébrés), etc.

La prise en compte des zonages existants dans la zone d'étude, des espèces et habitats naturels présents (ou potentiellement présents), permet d'amorcer la définition des enjeux écologiques majeurs, et d'éviter, si possible, les secteurs à très forte sensibilité. Le périmètre du projet pourra être ajusté dès cette phase le cas échéant.

b) Diagnostic

Une fois cette phase de pré-cadrage effectuée, le diagnostic proprement dit peut débuter. Il doit donner la meilleure description possible de l'état initial du site, en fonction des impacts potentiels.

Il nécessite des prospections de terrain approfondies, effectuées par des personnels compétents en écologie et en inventaires naturalistes. La durée et la complexité des études seront variables, en fonction des caractéristiques du site et de la diversité des compartiments biologiques à étudier. Les investigations doivent porter sur l'ensemble de l'emprise du projet, mais aussi sur les milieux connexes, pouvant être perturbés ou en lien avec les écosystèmes étudiés. On distingue généralement la zone affectée directement par le projet, c'est-à-dire le projet lui-même et ses annexes (pistes d'accès, zones de stockage...), une zone rapprochée susceptible d'être perturbée directement par des modifications des circulations hydrauliques, par l'émission de poussières, de substances polluantes ou encore par le bruit, et une zone périphérique éloignée incluant le site dans une zone écologique cohérente.

Pour dresser un bilan le plus pertinent possible, les prospections doivent se faire aux périodes adéquates, qui sont souvent différentes selon les groupes sur une surface adaptée aux enjeux. L'étude des groupements végétaux permet également d'établir une carte de la végétation et des habitats naturels, support essentiel de l'analyse. Cette cartographie doit être établie de préférence par rapport à une typologie normalisée [fiche 1]. La carte se doit d'être d'autant plus précise et détaillée que les milieux rencontrés sont sensibles aux perturbations.

c) Synthèse des enjeux et estimation des impacts

Les données récoltées permettent de cerner les enjeux écologiques et réglementaires du projet. Les différents habitats et espèces remarquables rencontrés doivent être décrits précisément : répartition, statuts réglementaires, statuts de vulnérabilité, état de conservation à différentes échelles, densité et dynamique d'évolution pour le site concerné.

Selon le degré de menace pesant sur les espèces et les milieux naturels et selon leur fragilité [annexe A], un travail cartographique permet d'identifier différents secteurs en fonction de leur sensibilité et d'en apprécier leur valeur écologique [annexe B].

Les synthèses cartographiques des enjeux écologiques présentent :

- l'aire étudiée,
- l'emprise du projet,
- la localisation des espèces patrimoniales et protégées,
- la situation du projet par rapport aux périmètres réglementaires et d'inventaires.

Le type et le nombre de cartes sont fonction des besoins de chaque dossier. Elles doivent illustrer la répartition des habitats, des espèces (végétales et animales) protégées et remarquables, ainsi que la localisation des enjeux écologiques hiérarchisés.

Les impacts considérés sont ceux intervenant en phase de travaux et d'exploitation, mais aussi ceux survenant après réaménagement.

On distingue :

- les effets positifs et négatifs,
- les impacts directs,
- les impacts indirects, issus des conséquences du projet sur le fonctionnement des écosystèmes périphériques, y compris en dehors du site d'étude,
- les impacts permanents, irréversibles (destruction et développement d'espèces protégées),
- les impacts temporaires, réversibles,
- les impacts à court, moyen et long terme.

En fonction du type d'impacts négatifs et de la sensibilité des groupes concernés, les impacts sont hiérarchisés selon leur intensité.

d) Mesures visant à réduire les impacts

Des mesures sont ensuite proposées dont la faisabilité technique et financière doit être assurée. Ces différentes mesures sont :

- **des mesures de suppression/éviterment**
la modification de l'emprise du projet peut permettre d'éviter la destruction d'espèces protégées ou à forte valeur patrimoniale ;
- **des mesures de réduction/atténuation**
si les mesures de suppression sont inenvisageables techniquement ou économiquement par le pétitionnaire, le projet peut être modifié afin de limiter les impacts. Les modifications peuvent porter en particulier sur la conception du projet, le calendrier de mise en œuvre et le site d'implantation ;
- **des mesures de compensation.**
si, malgré ces mesures, des impacts résiduels persistent, des mesures compensatoires sont alors mises en place, sur le site lui-même ou à proximité, visant de préférence les espèces concernées. Les propositions de mesures compensatoires peuvent être établies après consultation de la DREAL. ;
- **des mesures d'accompagnement**
pour être performantes et efficaces, les mesures compensatoires peuvent être parfois assorties de « mesures d'accompagnement », qui consistent principalement en des actions finan-

Des méthodes de diagnostic écologique de milieux naturels : pour quels usages ?

cières ou de connaissance, et dont la vocation est de renforcer les mesures compensatoires en leur donnant plus d'assise et de potentialité. Elles peuvent notamment s'illustrer par les mesures suivantes :

- le financement de programmes d'actions locales ou d'actions de sauvegarde d'espèces,
- le déplacement d'espèces ou d'habitats,
- le financement de suivis écologiques et de recherches sur les espèces et habitats impactés.

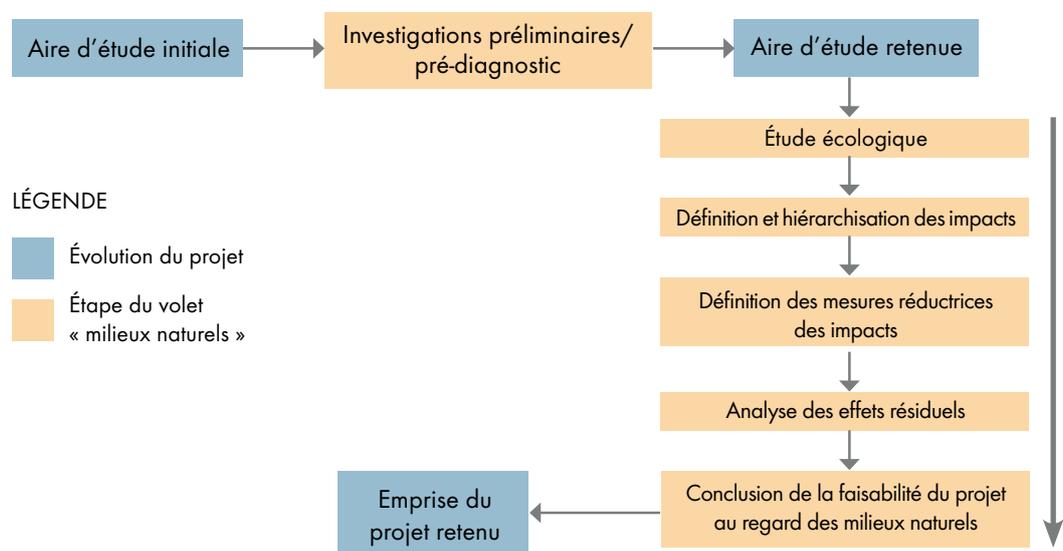
Ces mesures d'accompagnement peuvent s'inscrire dans un cadre réglementaire du type Arrêté préfectoral de Protection de Biotope, Réserve naturelle régionale.

2.5 Articulation de l'étude d'impact avec d'autres documents d'incidences

L'étude d'impact peut s'articuler avec d'autres documents :

- document d'incidences sur l'eau (loi sur l'eau). Si le projet est soumis à étude ou notice d'impact, celle-ci peut remplacer le document d'incidences sur l'eau, quand les préoccupations (évaluation des incidences, mesures correctives, compatibilité avec les objectifs de protection de l'eau) sont traitées dans le dossier d'étude d'impact ;
- document d'évaluation des incidences sur les objectifs de conservation des sites Natura 2000. Dans ce contexte, l'évaluation a une portée plus ciblée que dans le cadre de l'étude d'impact. En effet, elle se limite aux incidences en termes de conservation des espèces et des habitats d'intérêt communautaire. Elle peut constituer un volet du dossier de l'étude d'impact.

Figure 2 Élaboration du volet « milieux naturels » de l'étude d'impact



Fiches à consulter :

- habitats naturels [fiche 8]
- flore [fiche 7]
- oiseaux [fiche 28]
- amphibiens [fiche 25]
- chiroptères [fiche 31]
- odonates [fiche 14]
- rhopalocères [fiche 21]
- orthoptères [fiche 15]

MISE EN ŒUVRE DE LA TRAME VERTE ET BLEUE

Le Grenelle de l'environnement a institué la Trame verte et bleue (TVB) comme nouvel outil d'aménagement du territoire. Ce dispositif contribuera à contrecarrer l'érosion de la biodiversité en (re)créant des connectivités écologiques entre les espaces importants pour la biodiversité. Elle constitue une infrastructure naturelle qui maille l'ensemble du territoire national et se décompose en deux entités :

- une trame verte composée de grands ensembles naturels et de corridors les reliant ;
- une trame bleue formée des cours d'eau et masses d'eau et des réseaux de zones humides.

À l'échelle régionale, la Trame verte et bleue est mise en œuvre sur la base d'un Schéma régional de Cohérence écologique (SRCE), document présentant à la fois un diagnostic exhaustif de l'état des réseaux écologiques, leur cartographie, un programme d'action visant à conserver et rétablir ces réseaux.

La réforme des études d'impact (décret n° 2011-2019 du 29 décembre 2011) requiert désormais d'apporter les éléments permettant d'apprécier la prise en compte du SRCE dans les documents de planification et les projets de l'État, des collectivités territoriales et de leurs groupements ainsi que dans les projets d'infrastructures linéaires de transport de l'État.

Les collectivités territoriales et leurs groupements compétents en matière d'aménagement de l'espace ou d'urbanisme prennent en compte les schémas régionaux de cohérence écologique lors de l'élaboration ou de la révision de leurs documents d'aménagement de l'espace ou d'urbanisme. Ainsi, les projets de carrières prendront en compte les SRCE par l'entremise des documents de planification. Les pétitionnaires intégreront donc cette dimension dans leurs projets et leurs dossiers.

À noter que les différents acteurs responsables de l'élaboration de la TVB peuvent s'appuyer sur trois guides élaborés à l'initiative du ministère de l'Écologie (juillet 2010) :

- un guide à l'attention des décideurs :
« *Choix stratégiques de nature à contribuer à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques* » ;
- un guide à l'attention des services de l'État et des régions :
« *Guide méthodologique identifiant les enjeux nationaux et transfrontaliers relatifs à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques et comportant un volet relatif à l'élaboration des schémas régionaux de cohérence écologique* » ;
- un guide à l'attention des gestionnaires d'infrastructures linéaires de transport :
« *Prise en compte des orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques par les grandes infrastructures linéaires de l'État et de ses établissements publics* ».

3) ÉTUDE D'INCIDENCE NATURA 2000

3.1 Objectif

L'étude d'incidence Natura 2000 a pour but de vérifier la compatibilité des activités, des programmes et des projets de travaux avec les objectifs de conservation du ou des sites Natura 2000. Plus précisément, il s'agit de déterminer si l'activité, le programme ou le projet est susceptible d'affecter de façon notable les habitats et les espèces végétales et animales ayant justifié la désignation du site Natura 2000.

3.2 Cadre réglementaire

Un régime d'évaluation des incidences des projets ou programmes de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements susceptibles d'affecter de façon notable un site Natura 2000 (ZSC ou ZPS) a été introduit par les articles 6.3 et 6.4 de la directive Habitats-Faune-Flore, transposés en droit français depuis 2001 par les articles L414-4 et 5 et R414-19 à 26 du Code de l'environnement.

Cette procédure a cependant fait l'objet d'une réforme mise en œuvre par les textes législatifs et réglementaires suivants :

- la loi du 1^{er} août 2008 relative à la responsabilité environnementale (art. 13) ;
- le décret 2010-365 du 9 avril 2010 relatif à l'évaluation des incidences Natura 2000 ;
- la loi « Grenelle II » du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (art.125) ;
- le décret n° 2011-966 du 16 août 2011 relatif au régime d'autorisation administrative propre à Natura 2000.

Ce nouveau dispositif d'évaluation des incidences Natura 2000 repose principalement sur un système de listes d'activités susceptibles d'avoir un impact significatif sur un site Natura 2000. Celles-ci énumèrent les « documents de planification, programmes ou projets d'activités, de travaux, d'aménagements, d'installations, de manifestations ou d'interventions dans le milieu naturel » soumis à évaluation des incidences Natura 2000.

Il existe une liste nationale et des listes locales.

La liste nationale (décret du 9 avril 2010 relatif à l'évaluation des incidences Natura 2000 et figurant à l'article R414-19 du Code de l'environnement) comporte 29 items et couvre divers types de projets : il peut s'agir de documents de planification, programmes ou projets d'activités de travaux, d'aménagements, manifestations ou interventions dans le milieu naturel (documents d'urbanisme, forestiers, projets soumis à étude d'impact, ICPE, manifestations sportives de grande ampleur, etc.).

Les listes locales arrêtées par le préfet de département et le préfet maritime ont vocation à tenir compte, au plan local, des enjeux particuliers de chaque site Natura 2000 du département.

Il existe deux catégories de listes locales :

- les listes locales 1 et 1 « mer » : les activités figurant sur ces listes sont encadrées (autorisation, approbation, déclaration) et viennent en complément de celles figurant sur la liste nationale (LN1). Il peut, par exemple, s'agir de documents de planification ne figurant pas sur la liste nationale, des autorisations d'urbanisme, des manifestations sportives non motorisées en dessous des seuils définis dans la liste nationale, etc.

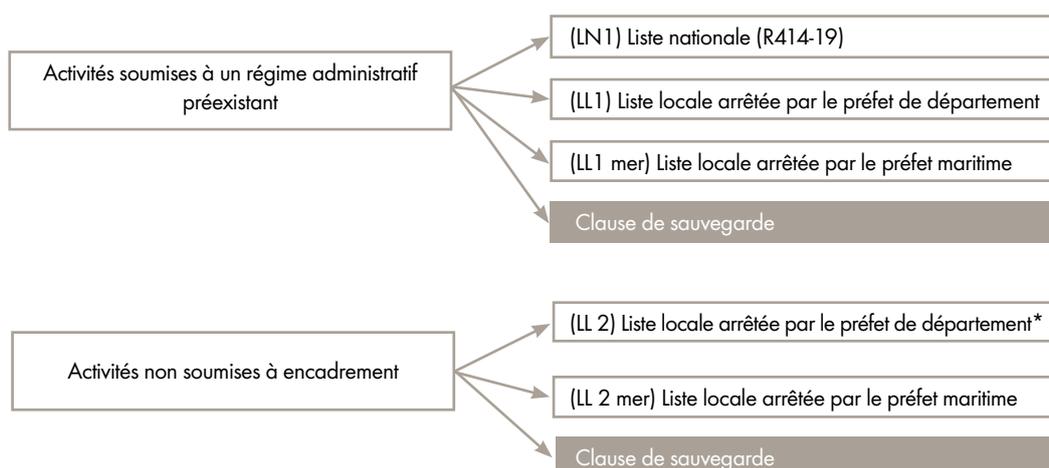
Le cuivré des marais (*Lycaena dispar*),
espèce inscrite à l'annexe II de la Directive Habitats



R. Lecomte (Encem)

- les listes locales 2 et 2 « mer » : ces listes concernent des activités qui jusqu'alors ne nécessitaient aucune formalité administrative. Cela signifie qu'un régime d'autorisation administrative propre à Natura 2000 est institué pour les activités figurant sur la liste locale. Ces listes sont constituées à partir d'une liste nationale de référence définie par décret.

Ce système de listes est en outre complété par une clause dite de « sauvegarde » ou « filet » (L414-4 IV bis) qui permet à l'autorité administrative de soumettre à évaluation des incidences tout plan, projet ou manifestation qui ne figurerait pas sur une liste, mais qui serait tout de même susceptible de porter atteinte aux objectifs de conservation d'un ou plusieurs sites Natura 2000. Le recours à cette disposition « filet » revêt un caractère exceptionnel.



* Les listes sont élaborées à partir de la liste nationale de référence fixée par décret (LN 2).
La liste nationale de référence n'est donc pas directement applicable.

3.3 Contenu

Le contenu de l'évaluation des incidences est détaillé dans l'article R414-23 du Code de l'environnement et la circulaire du 15 avril 2010 relative à l'évaluation des incidences Natura 2000. Celui-ci est variable en fonction de l'existence ou de l'absence d'incidences de l'activité proposée sur un site Natura 2000.

L'objet de l'évaluation des incidences Natura 2000 est de déterminer si l'activité envisagée portera atteinte aux objectifs de conservation des habitats et espèces végétales et animales ayant justifié la désignation du site. La détermination d'atteinte aux objectifs de conservation d'un site ne peut être envisagée qu'au cas par cas, au regard du projet.

3.4 Mode opératoire

a) Évaluation préliminaire ou simplifiée

Le dossier doit, *a minima*, comporter :

- une présentation simplifiée de l'activité ;
- une carte permettant de localiser l'espace terrestre ou marin sur lequel le projet peut avoir des effets et les sites Natura 2000 susceptibles d'être concernés par ces effets ;
- lorsque le projet est à réaliser dans le périmètre d'un site Natura 2000, un plan de situation

Des méthodes de diagnostic écologique de milieux naturels : pour quels usages ?

détaillé est fourni ;

- un exposé sommaire, mais argumenté, des incidences que le projet d'activité est ou non susceptible de causer à un ou plusieurs sites Natura 2000. Cet exposé argumenté intègre nécessairement une description des contraintes déjà présentes (autres activités humaines, enjeux écologiques, etc.) sur la zone où devrait se dérouler l'activité.

Pour une activité se situant à l'extérieur d'un site Natura 2000, si, par exemple, en raison de la distance importante avec le site Natura 2000 le plus proche, l'absence d'impact est évidente, l'évaluation est achevée.

Si, à ce stade, l'évaluation des incidences conclut à l'absence d'atteinte aux objectifs de conservation des sites Natura 2000, et sous réserve de l'accord de l'autorité dont relève la décision, il ne peut être fait obstacle à l'activité au titre de Natura 2000.

b) Compléments au dossier lorsqu'un site est susceptible d'être affecté

S'il apparaît, lors de la constitution du dossier préliminaire, que les objectifs de conservation d'un ou plusieurs sites sont susceptibles d'être affectés, le dossier est ainsi complété par le demandeur :

- l'exposé argumenté cité au a) ci-dessus identifie le ou les sites Natura 2000 pouvant être affectés en fonction de la nature et de l'importance de l'activité, de la localisation de l'activité à l'intérieur d'un site ou à sa proximité, de la topographie, de l'hydrographie, du fonctionnement des écosystèmes, des caractéristiques des habitats et espèces des sites concernés, etc. ;
- une analyse des différents effets de l'activité sur le ou les sites : permanents et temporaires, directs et indirects, cumulés avec ceux d'autres activités portées par le demandeur.

Si, à ce deuxième stade, l'analyse démontre l'absence d'atteinte aux objectifs de conservation du ou des sites concernés, l'évaluation est terminée.

c) Mesures d'atténuation et de suppression des incidences

Lorsque les étapes décrites aux a) et b) ci-dessus ont caractérisé un ou plusieurs effets significatifs certains ou probables sur un ou plusieurs sites Natura 2000, l'évaluation intègre des mesures de correction (déplacement du projet d'activité, réduction de son envergure, utilisation de méthodes alternatives, etc.) pour supprimer ou atténuer lesdits effets. Ces propositions de mesures engagent le porteur du projet d'activité pour son éventuelle réalisation.

À ce troisième stade, si les mesures envisagées permettent de conclure à l'absence d'atteinte aux objectifs de conservation d'un ou plusieurs sites Natura 2000, l'évaluation des incidences est achevée.

Si la suppression ou l'atténuation des effets significatifs dommageables n'a pas été possible, le dossier d'évaluation expose, en outre :

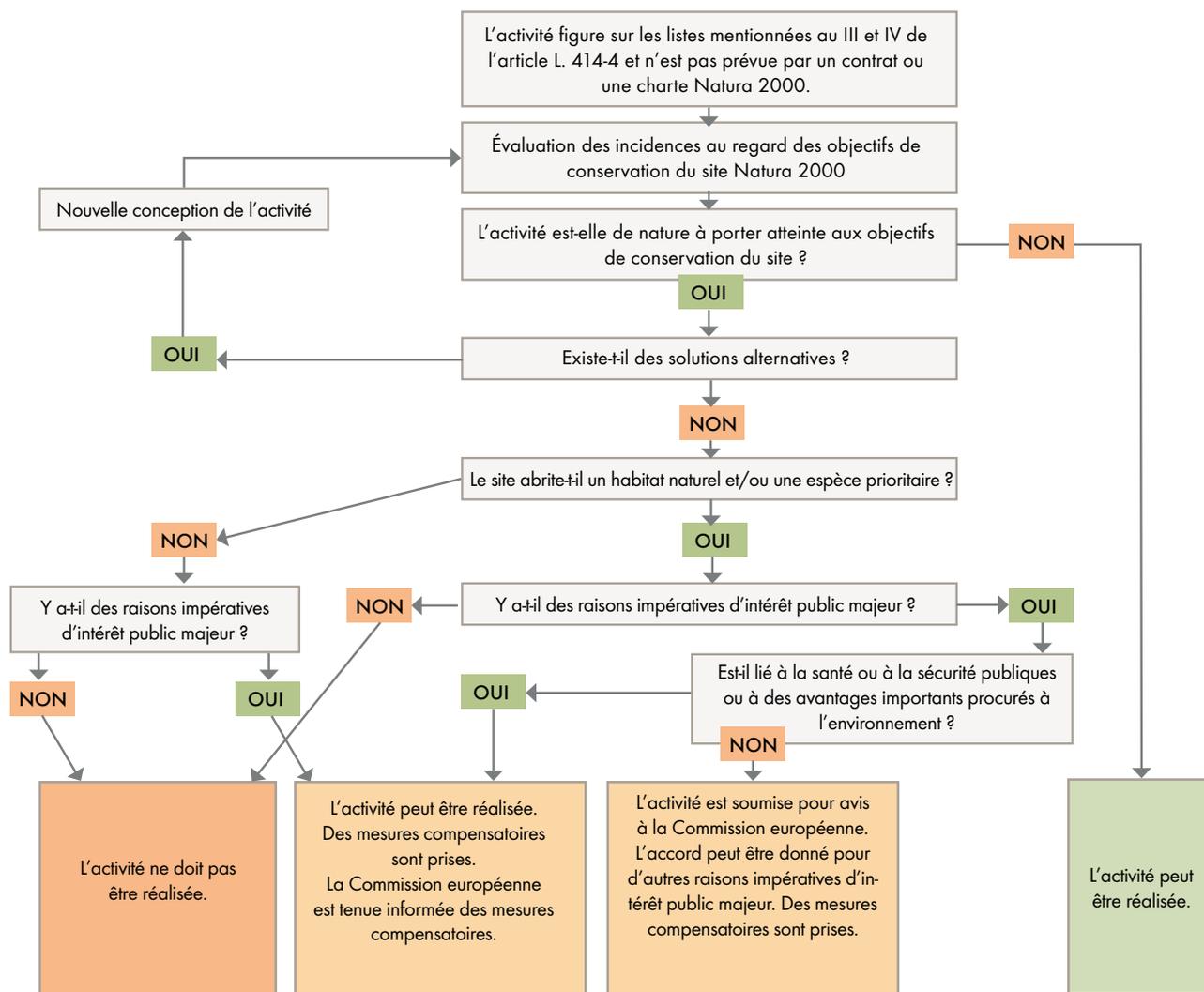
- la description des solutions alternatives envisageables, les raisons pour lesquelles il n'existe pas d'autre solution que celle retenue et les éléments qui permettent de justifier, malgré cela,

l'approbation du projet dans les conditions admises par l'article L414-4 ;

- la description des mesures envisagées pour compenser les effets dommageables que les mesures prévues ne peuvent supprimer. Les mesures compensatoires permettent une compensation efficace et proportionnée au regard de l'atteinte portée aux objectifs de conservation du ou des sites Natura 2000 concernés et du maintien de la cohérence globale du réseau Natura 2000. Ces mesures compensatoires sont mises en place selon un calendrier permettant d'assurer une continuité dans les capacités du réseau Natura 2000 à assurer la conservation des habitats naturels et des espèces. Lorsque ces mesures compensatoires sont fractionnées dans le temps et dans l'espace, elles résultent d'une approche d'ensemble, permettant d'assurer cette continuité ;
- l'estimation des dépenses correspondantes et les modalités de prise en charge des mesures compensatoires par le maître d'ouvrage ou le pétitionnaire.

Figure 3

Évaluation des incidences d'un projet en regard des objectifs de gestion d'un site Natura 2000 (d'après la circulaire du 15 avril 2010 relative à l'évaluation des incidences Natura 2000)



Des méthodes de diagnostic écologique de milieux naturels : pour quels usages ?

Fiches à consulter :

- habitats naturels [fiche 8]
- flore [fiche 7]
- oiseaux [fiche 28]
- amphibiens [fiche 25]
- chiroptères [fiche 31]
- odonates [fiche 14]
- rhopalocères [fiche 21]
- orthoptères [fiche 15]
- poissons [fiche 23]
- mammifères [fiche 30]
- micromammifères [fiche 32]
- reptiles [fiche 27]
- mollusques [fiche 9]
- généralités sur les insectes [fiche 13]
- coléoptères saproxyliques [fiche 17]
- hétérocères [fiche 22]
- écrevisses [fiche 11]

4) ÉTUDE D'INCIDENCE « LOI SUR L'EAU »

4.1 Objectif

Il s'agit de lister et de hiérarchiser les impacts sur les eaux superficielles et souterraines continentales.

4.2 Cadre réglementaire

La loi sur l'eau codifiée aux articles L214-1 à 6 du Code de l'environnement prévoit que les installations, ouvrages, travaux et activités réalisés à des fins non domestiques par toute personne physique ou morale, publique ou privée et entraînant des prélèvements sur les eaux superficielles ou souterraines, restitués ou non, une modification du niveau ou du mode d'écoulement des eaux, la destruction de frayères, de zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole ou des déversements, écoulements, rejets ou dépôts directs ou indirects, chroniques ou épisodiques, même non polluants, sont soumis à autorisation ou à déclaration préalable suivant les dangers qu'ils présentent et la gravité de leurs effets sur la ressource en eau et les écosystèmes aquatiques.

La nomenclature définie par l'article R214-1 du Code de l'environnement précise avec exactitude les opérations soumises à déclaration et à autorisation préalablement à leur mise en œuvre. L'autorisation est prise sous la forme d'un arrêté préfectoral fixant les conditions que le pétitionnaire doit respecter.

Cette autorisation est donc délivrée par le préfet après instruction par les services administratifs, enquête publique et passage devant le Conseil départemental des Risques sanitaires et technologiques.

L'instruction et l'enquête se font sur la base d'un dossier de demande dont le canevas est donné dans la présente notice.

Dans le cas d'une opération soumise à déclaration, celle-ci donne lieu à un récépissé au vu du dépôt d'un dossier dont la composition est identique au dossier de demande d'autorisation, avec possibilité pour le préfet de s'opposer à déclaration.

4.3 Contenu

Le contenu des dossiers d'autorisation et de déclaration est défini respectivement par les articles R214-6 et R214-32 du Code de l'environnement.

Cette demande d'autorisation (ou déclaration) comprend :

- le nom et l'adresse du demandeur ;
- l'emplacement sur lequel l'installation, l'ouvrage, les travaux ou l'activité doivent être réalisés ;
- la nature, la consistance, le volume et l'objet de l'ouvrage, de l'installation, des travaux ou de l'activité envisagés, ainsi que la ou les rubriques de la nomenclature dans lesquelles ils doivent être rangés ;
- un document :
 - indiquant les incidences directes et indirectes, temporaires et permanentes, du projet sur la ressource en eau, le milieu aquatique, l'écoulement, le niveau et la qualité des eaux, y compris de ruissellement, en fonction des procédés mis en œuvre, des modalités d'exécution des travaux ou de l'activité, du fonctionnement des ouvrages ou installations, de la nature, de l'origine et du volume des eaux utilisées ou affectées et compte tenu des variations saisonnières et climatiques ;
 - comportant, lorsque le projet est de nature à affecter de façon notable un site Natura 2000 au sens de l'article L414-4 du Code de l'environnement, l'évaluation de ses incidences au regard des objectifs de conservation du site ;
 - justifiant, le cas échéant, de la compatibilité du projet avec le schéma directeur ou le schéma d'aménagement et de gestion des eaux et de sa contribution à la réalisation des objectifs visés à l'article L211-1 du Code de l'environnement ainsi que des objectifs de qualité des eaux prévus par le décret n° 91-1283 du 19 décembre 1991 ;
 - précisant, s'il y a lieu, les mesures correctives ou compensatoires envisagées ;
- les moyens de surveillance prévus et, si l'opération présente un danger, les moyens d'intervention en cas d'incident ou d'accident ;
- les éléments graphiques, plans ou cartes utiles à la compréhension des pièces du dossier ;
- des informations complémentaires lorsqu'il s'agit de stations d'épuration d'une agglomération, d'assainissement ou de dispositifs d'assainissement non collectif ou de déversoirs d'orage situés sur un système de collecte des eaux usées.

Les études et documents porteront sur l'ensemble des installations ou équipements exploités ou projetés par le demandeur qui, par leur proximité ou leur connexité avec l'installation soumise à autorisation ou à déclaration, sont de nature à participer aux incidences sur les eaux ou le milieu aquatique.

4.4 Mode opératoire

L'état écologique initial doit présenter le système hydrographique et les principales caractéristiques du bassin versant. La sensibilité du secteur d'étude doit être établie, via l'étude de la bibliographie [annexe A] et la concertation avec les différents acteurs de la gestion des milieux aquatiques.

Le milieu est décrit en fonction :

- de données hydrologiques (débit moyen interannuel, débit d'étiage, débit de crues, relevés piézométriques) ;
- de données morphologiques (mesures de largeur, de profondeur, faciès d'écoulement, état et nature des berges et de leur végétation) ;



R. Lecomte (Encem)

Des méthodes de diagnostic écologique de milieux naturels : pour quels usages ?

- de données physico-chimiques, choisies conformément aux recommandations du SEQ-Eau* (15 paramètres à prendre en compte, permettant de calculer des classes de qualité de l'eau). Le nombre de stations de mesure en plan d'eau dépend de sa surface et de ses caractéristiques morphologiques. En cours d'eau, il est préférable de faire les analyses sur au moins 2 stations (une station amont de référence, une station subissant l'impact et, éventuellement, une troisième station en aval lointain pour mesurer la dilution de l'impact au fil de l'eau ;
- de descripteurs biologiques [fiche 5] ;
- de critères pédologiques. La nature du sol permet de déterminer, par exemple, l'histoire et les caractéristiques du milieu, ce qui est utile pour comprendre le fonctionnement actuel et passé d'une zone humide.

Une fois cet état des lieux dressé, les impacts prévisibles du projet sont évalués et hiérarchisés, en fonction de la sensibilité des différents compartiments listés précédemment, de l'intensité et de la durée de l'impact (impact ponctuel ou permanent, direct ou indirect).

Les impacts recensés sont ensuite hiérarchisés à un second niveau, en fonction :

- de la valeur patrimoniale de l'espèce ou de l'habitat dans la région naturelle,
- de la sensibilité aux perturbations,
- de la durée, du type, de la nature et de la portée de l'impact sur les individus et les populations,
- des capacités de résilience et de restauration des milieux.

L'étude peut se faire en comparant le site avec une situation de référence (station amont, station équivalente) ou par extrapolation à dire d'expert.

Enfin, le rapport présente des mesures correctives visant à modifier le projet, pour réduire les impacts (pêches de sauvetage, réduction de l'emprise du projet, modification du contour de l'aménagement, choix de techniques et de matériaux moins perturbants...).

Le rapport d'incidence « loi sur l'eau » peut être inclus dans une étude d'impact.

Fiches à consulter :

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| - amphibiens [fiches 25 et 26] | - écrevisses [fiche 11] |
| - odonates [fiche 14] | - IBGN [fiche 33] |
| - mollusques [fiche 9] | - IMOL [fiche 37] |
| - diatomées [fiche 39] | - IPR [fiche 35] |
| - phytoplancton [fiche 38] | - IOBL [fiche 40] |
| - macrophytes [fiche 34] | - IOBS [fiche 41] |
| - IBEM [fiche 36] | - bio-indication [fiche 5] |
| - poissons [fiches 23 et 24] | |

5) DEMANDE DE DÉROGATION SUR DES ESPÈCES PROTÉGÉES

5.1 Objectif

Certaines espèces animales et végétales bénéficient d'un statut de protection, qui vise à réglementer leur destruction et celle de leurs habitats. Dans le cadre de travaux susceptibles de porter atteinte à ces espèces, le pétitionnaire peut être amené à déposer un dossier de demande de dérogation auprès des services de l'État afin d'obtenir une autorisation de destruction ou de transfert d'espèces protégées, qui s'inscrit dans un cadre réglementaire. Ne sont considérées dans ce chapitre que les espèces métropolitaines et non marines.

5.2 Cadre réglementaire relatif à la protection des espèces

Les espèces peuvent bénéficier de mesures de protection à différents niveaux :

- au niveau européen, il s'agit des espèces :
 - o des annexes I, II et III de la Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe dite Convention de Berne du 19 septembre 1979,
 - o de l'annexe IV de la directive Habitats 92/43/CEE du 21 mai 1992 ;
- au niveau national, les listes des espèces protégées sont fixées par arrêtés ministériels, en application du Code de l'environnement (L411-1 et L411-2) ;
- au niveau régional (arrêtés ministériels par régions administratives) pour la flore (toutes les régions) et les insectes (Île-de-France), de portée identique à la protection nationale ;
- au niveau départemental. Les espèces pouvant faire l'objet d'une réglementation préfectorale visant à soumettre à autorisation « le ramassage, la récolte et la cession à titre gratuit ou onéreux » de spécimens non cultivés de végétaux et champignons sont listées dans les arrêtés du 13 octobre 1989 modifiés concernant la métropole. La réglementation est mise en place par les préfets de départements.

Espèces végétales [fiche 2]

La réglementation relative à la protection de la flore sauvage repose principalement sur deux régimes :

- le régime de protection stricte ; il s'agit de la réglementation dite « espèces protégées » qui interdit certaines activités ;
- le régime d'autorisation ; il s'agit de la réglementation dite « cueillette » qui concerne de nombreuses espèces régulièrement récoltées pour divers usages comme le muguet.

Les espèces protégées sont définies par arrêtés ministériels. Il existe un arrêté portant sur la liste des espèces protégées pour l'ensemble du territoire français (arrêté du 20 janvier 1982, modifié). Cet arrêté distingue deux listes d'espèces : l'annexe I identifie une liste d'espèces strictement protégées, l'annexe II concerne les espèces dont certaines activités sont interdites, d'autres étant soumises à autorisation.

Un arrêté spécifique concerne les espèces marines et il existe des arrêtés complétant la liste nationale pour chaque région administrative.



R. Lecomte (Encem)

Des méthodes de diagnostic écologique de milieux naturels : pour quels usages ?

Les arrêtés définissent les activités interdites (coupe, destruction, cueillette, arrachage, vente, achat...) dès lors qu'il s'agit de spécimens non cultivés. La production et la vente de spécimens cultivés des espèces listées à l'annexe I de l'arrêté du 20 janvier 1982 est également soumise à autorisation. Les espèces protégées sont principalement des plantes vasculaires. Néanmoins quelques bryophytes (mousses au sens large) et lichens sont protégés dans les arrêtés régionaux.

Espèces animales

Les arrêtés du 23 avril 2007 (JORF du 10 mai 2007) et du 19 novembre 2007 (JORF du 18 décembre 2007) fixent la liste des espèces de mammifères terrestres, de reptiles, d'amphibiens, d'insectes et de mollusques protégés sur l'ensemble du territoire national et les modalités de leur protection.

Sont concernés : les mammifères [fiches 30, 31 et 32], les reptiles [fiche 27], les amphibiens [fiches 25 et 26], les insectes [fiches 14 à 20] et les mollusques [fiche 9].

Ces arrêtés stipulent que, pour ces espèces, les pratiques suivantes sont interdites :

- sur tout le territoire métropolitain, et en tout temps, la destruction, la mutilation, la capture ou l'enlèvement, la perturbation intentionnelle des animaux dans le milieu naturel à tous les stades de développement ;
- sur les parties du territoire métropolitain où l'espèce est présente, ainsi que dans l'aire de déplacement naturel des noyaux de population existants, la destruction, l'altération, ou la dégradation des sites de reproduction et des aires de repos des animaux. Ces interdictions s'appliquent aux éléments physiques ou biologiques réputés nécessaires à la reproduction ou au repos de l'espèce considérée, aussi longtemps qu'ils sont effectivement utilisés ou utilisables au cours des cycles successifs de reproduction ou de repos de cette espèce et pour autant que la destruction, l'altération ou la dégradation remettent en cause le bon accomplissement de ces cycles biologiques ;
- sur tout le territoire national, et en tout temps, la détention, le transport, la naturalisation, le colportage, la mise en vente, la vente ou l'achat, l'utilisation commerciale ou non, des spécimens, vivants ou morts, prélevés dans le milieu naturel du territoire métropolitain de la France.

Les trois interdictions s'appliquent à l'ensemble des espèces protégées de mammifères et de mollusques.

Pour les reptiles, les amphibiens et les insectes protégés, deux cas sont distingués :

- les espèces protégées, inscrites à l'annexe IV de la directive Habitats, qui sont concernées par ces trois interdictions ;
- les autres espèces protégées, c'est-à-dire inscrites uniquement à l'annexe II de la directive Habitats, ou non inscrites aux annexes II et IV de la même directive européenne, qui sont protégées en tant que telles mais pas leurs habitats.

Les oiseaux [fiches 28 et 29]

L'arrêté du 17 avril 1981 modifié ainsi que deux arrêtés du 29 octobre 2009 fixent la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire national et les modalités de leur protection.

Sont interdits pour ces espèces sur tout le territoire métropolitain :

- la destruction intentionnelle ou l'enlèvement des œufs ou des nids ;
- la destruction, la mutilation, la capture ou l'enlèvement des oiseaux dans le milieu naturel ;
- la perturbation intentionnelle des oiseaux, notamment pendant la période de reproduction et de dépendance ;
- la naturalisation ou, qu'ils soient vivants ou morts, le transport, le colportage, l'utilisation, la mise en vente, la vente ou l'achat ;
- la destruction, l'altération et la dégradation des sites de reproduction et des aires de repos des oiseaux.

Les poissons [fiches 23 et 24]

L'arrêté du 8 décembre 1988 (JORF du 22 décembre 1988) stipule que « sont interdits en tout temps, sur tout le territoire national, la destruction ou l'enlèvement des œufs ainsi que la destruction, l'altération ou la dégradation des milieux particuliers, et notamment des lieux de reproduction, désignés par arrêté préfectoral » des espèces mentionnées dans cet arrêté.

Les écrevisses autochtones [fiche 11]

L'arrêté du 21 juillet 1983 (JORF* du 19 août 1983) modifié stipule qu'« il est interdit d'altérer et de dégrader sciemment les milieux particuliers de ces crustacés ».

5.3 Dérogations aux mesures de protection des espèces

Les interdictions prévues à l'article L. 411-1 du Code de l'environnement doivent être impérativement respectées dans la conduite des activités et des projets d'aménagement et d'infrastructures. Ceux-ci doivent être conçus et menés à bien sans porter atteinte aux espèces de faune et de flore sauvages protégées.

Exceptionnellement, l'autorité administrative peut, en accord avec l'article L. 411-2 du Code de l'environnement, reconnaître un droit de dérogation à ces interdictions. Ces dérogations ne sont délivrées que si le projet justifie d'un intérêt précis et qu'aucune solution alternative n'est possible et qu'il ne dégrade pas l'état de conservation des espèces concernées.

Un décret en Conseil d'État détermine les conditions dans lesquelles est fixée « 4° La délivrance de dérogation aux interdictions mentionnées aux 1°, 2° et 3° de l'article L411-1, à condition qu'il n'existe pas d'autre solution satisfaisante et que la dérogation ne nuise pas au maintien, dans un état de conservation favorable, des populations des espèces concernées dans leur aire de répartition naturelle :

- a) dans l'intérêt de la protection de la faune et de la flore sauvages et de la conservation des habitats naturels ;
- b) pour prévenir des dommages importants, notamment aux cultures, à l'élevage, aux forêts, aux pêcheries, aux eaux et à d'autres formes de propriété ;
- c) dans l'intérêt de la santé et de la sécurité publiques ou pour d'autres raisons impératives d'intérêt public majeur, y compris de nature sociale ou économique, et pour des motifs qui comporteraient des conséquences bénéfiques primordiales pour l'environnement ;
- d) à des fins de recherche et d'éducation, de repeuplement et de réintroduction de ces espèces et pour des opérations de reproduction nécessaires à ces fins, y compris la propagation artificielle des plantes ;
- e) pour permettre, dans des conditions strictement contrôlées, d'une manière sélective et dans une mesure limitée, la prise ou la détention d'un nombre limité et spécifié de certains spécimens. »

Des méthodes de diagnostic écologique de milieux naturels : pour quels usages ?

Une dérogation ne peut être accordée que :

- si l'on se situe dans un des cinq cas listés ci-dessus ;
- s'il n'y a pas d'autre solution satisfaisante (localisation, variantes, mesures d'évitement et de réduction, choix des méthodes...);
- et que les opérations ne nuisent pas au maintien, dans un état de conservation favorable, des populations des espèces concernées dans leur aire de répartition naturelle.

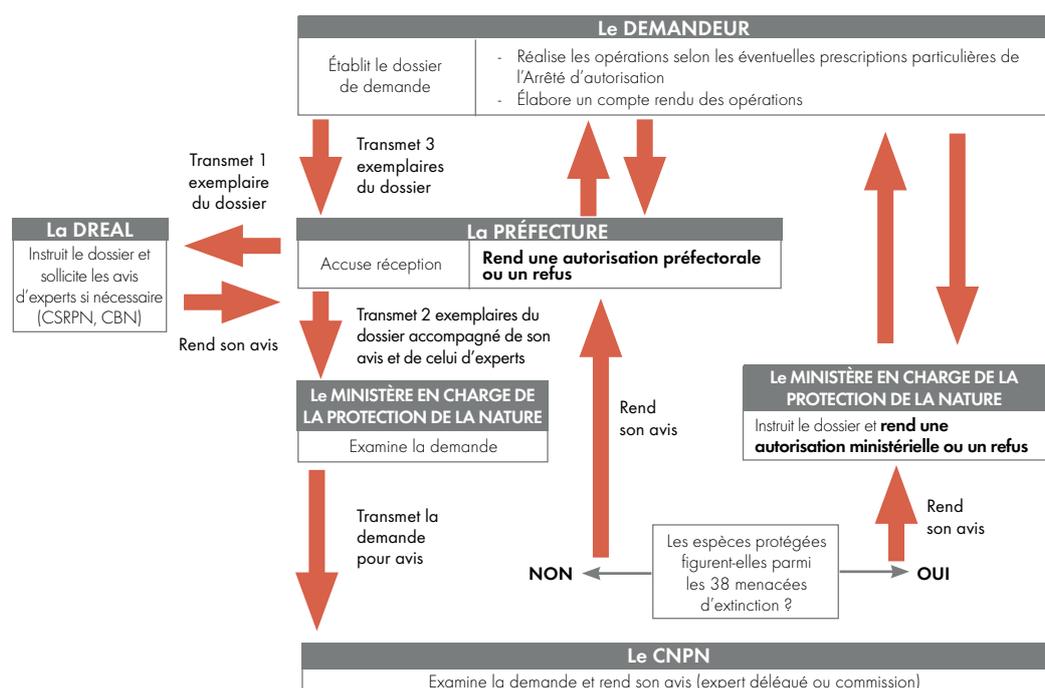
Le décret du 4 janvier 2007 (modifiant le Code de l'environnement, articles R411-1 à 16), l'arrêté du 19 février 2007 et la circulaire du 21 janvier 2008 confirment que ces dérogations sont accordées par le préfet du département du lieu de l'opération après avis du Conseil national de la Protection de la Nature (CNPN).

La circulaire du 21 janvier 2008 vient compléter les annexes des circulaires de 1998 et 2000 pour constituer un recueil des procédures à suivre pour chaque cas de dérogation aux mesures de protection des espèces de faune et de flore sauvages.

La demande, en trois exemplaires au minimum, est à adresser au préfet, qui transmet le dossier à la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL). Celle-ci émet un avis sur le dossier et le transmet au Conseil national de la Protection de la Nature (CNPN), qui le soumet à l'avis d'un expert ou d'un collège d'experts en séance plénière pour les dossiers les plus complexes.

Figure 4

Procédure d'instruction des dérogations définies au 4° de l'article L411-2 du Code de l'environnement portant sur des espèces de faune et de flore sauvages protégées (ENCEM, 2011)



Fritillaire pintade
(*Fritillaria meleagris*)



P. Gourdain (MNHN/SPN)

5.4 Contenu

La demande de dérogation à la réglementation sur les espèces protégées peut être acceptée par la DREAL si cette demande est fondée, qu'il n'existe pas d'autres solutions satisfaisantes, et que la dérogation ne nuise pas à la population dans son aire de répartition naturelle.

Le dossier de demande de dérogation doit comprendre :

- les nom et prénoms, l'adresse, la qualification et la nature des activités du demandeur ou, pour une personne morale, sa dénomination, les nom, prénoms et qualification de son représentant, son adresse et la nature de ses activités ;
- la description, en fonction de la nature de l'opération projetée :
 - du programme d'activité dans lequel s'inscrit la demande, de sa finalité et de son objectif ;
 - des espèces (nom scientifique et nom commun) concernées ;
 - du nombre et du sexe des spécimens de chacune des espèces faisant l'objet de la demande ;
 - de la période ou des dates d'intervention ;
 - des lieux d'intervention ;
 - s'il y a lieu, des mesures d'atténuation ou de compensation mises en œuvre, ayant des conséquences bénéfiques pour les espèces concernées ;
 - de la qualification des personnes amenées à intervenir ;
 - du protocole des interventions : modalités techniques, modalités d'enregistrement des données obtenues ;
 - des modalités de compte rendu des interventions.

Les pétitionnaires compléteront utilement leur dossier en justifiant que leur demande répond aux critères d'obtention d'une dérogation, à savoir que leur demande :

- se situe dans un des cinq cas autorisés,
- ne connaît pas d'autre solution satisfaisante
- et qu'elle ne nuira pas au maintien, dans un état de conservation favorable, des populations des espèces concernées dans leur aire de répartition naturelle.

Fiches à consulter :

- flore [fiche 7]
- mammifères [fiches 30, 31 et 32]
- reptiles [fiche 27]
- amphibiens [fiches 25 et 26]
- insectes [fiches 14 à 20]
- mollusques [fiche 9]
- oiseaux [fiches 28 et 29]
- poissons [fiches 23 et 24]
- écrevisses autochtones [fiche 11]

6) ÉLABORATION ET SUIVI D'UN PLAN DE GESTION D'ESPÈCES OU D'ESPACES

6.1 Objectif

Un plan de gestion permet de prévoir les actions à mener sur des habitats naturels ou des espèces, sur un pas de temps assez long (plusieurs années). Il décrit les opérations prévues et leur localisation.

6.2 Contenu et mode opératoire

Il n'existe pas d'obligation légale à la mise en place et au contenu d'un plan de gestion sur une carrière sauf s'il s'agit d'une mesure mentionnée dans l'arrêté préfectoral d'autorisation. Il est le plus souvent élaboré de façon volontaire par l'exploitant, mais peut être aussi demandé par l'administration en tant que mesure compensatoire dans un objectif de gestion d'espace et d'espèces, sur le site comme en périphérie.

Le plan de gestion s'articule en plusieurs parties :

- un état initial, par le recueil d'informations bibliographiques et auprès des gestionnaires d'espaces naturels (si l'élaboration d'un plan de gestion intervient dans le cadre d'une étude d'impact, il peut s'appuyer sur l'état initial réalisé dans celle-ci). Le site est morcelé en unités de gestion, similaires en termes de qualité des sols, de végétation, mode de gestion, objectifs de gestion. Une expertise sur le site peut être effectuée si nécessaire. Elle peut par exemple dévoiler la présence d'espèces pionnières patrimoniales, qui ont bénéficié des perturbations liées au chantier. Leur présence et leur futur développement peut alors être pris en compte dans le plan de gestion ;
- une définition des objectifs, de manière opérationnelle et chiffrée, réalisables dans la durée du plan de gestion ;
- une planification des opérations envisagées, avec la cartographie et les coûts associés, ainsi que les modalités pratiques et techniques de réalisation.

Le plan de gestion doit pouvoir évoluer sagement durant sa mise en œuvre, en fonction de l'évolution constatée des milieux naturels, souvent différente de l'évolution prévue au départ sur certains aspects.

Fiches à consulter :

- habitats naturels [fiche 8]
- valeur patrimoniale [fiche 36]
- continuités écologiques [fiche 6]



7) ÉLABORATION ET SUIVI D'UN PLAN DE SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ D'UN ESPACE

7.1 Objectif

Les différents compartiments d'un écosystème, comme l'eau, les habitats physiques (trous dans la berge pour les poissons par exemple), peuvent être abordés sous un angle qualitatif. Le milieu aquatique en particulier fait fréquemment l'objet de mesures de qualité. Plusieurs indices, normalisés, permettent d'évaluer les cours d'eau et pièces d'eau en fonction de la qualité de leurs eaux. Diverses espèces ou groupes d'espèces bio-indicatrices sont utilisées à ce propos. Le milieu terrestre a fait l'objet de peu de démarches similaires, exception faite de la qualité de l'air (lichens) ou des sols (IBQS).

Les données d'inventaires naturalistes peuvent servir dans le cadre d'un suivi qui, à partir d'au moins deux inventaires à des dates différentes, permet de caractériser l'évolution dans le temps des espèces ou des habitats. Un suivi peut se faire à partir de deux références temporelles, c'est-à-dire un temps 1 (avant travaux, par exemple) et un temps 2 postérieur (après réaménagement, par exemple). La comparaison des listes d'espèces ou de leur répartition sur le site entre ces deux dates permet de comprendre les dynamiques des populations. Les données servent ici à mettre en place un outil de suivi d'évolution temporelle.

Le suivi peut se faire aussi sur davantage de dates. Par exemple, un suivi chaque année après un réaménagement permet de mesurer les résultats de ce réaménagement et, le cas échéant, d'ajuster le plan de gestion lorsque les effets observés sont différents des effets attendus.

7.2 Cadre réglementaire

Divers indices sont normalisés par l'AFNOR, leur application suit alors un protocole strict parfaitement défini. Les autres approches ne répondent pas toutes à ce genre d'exigences mais doivent cependant être inscrites dans un cadre précis, reproductible, afin de rendre les résultats obtenus comparables entre eux.

7.3 Contenu et mode opératoire

Les caractéristiques de l'environnement, ou l'incidence de certaines pratiques sur celui-ci, peuvent être étudiées via l'étude d'espèces bio-indicatrices. Ces espèces sont le reflet de l'écosystème dans sa globalité.



Fiches à consulter :

- IBMR [fiche 34]
- IBD [fiche 39]
- IBGN et IBGA [fiche 33]
- IPR [fiche 35]

Autres fiches à consulter :

- IMOL [fiche 37]
- IOBL [fiche 40]
- IOBS [fiche 41]
- IBEM [fiche 36]
- lichens [fiche 42]

8) PROGRAMMES D'ACQUISITION DE DONNÉES SUR LE PATRIMOINE NATUREL

8.1 Objectif

Les inventaires consistent à recenser les espèces ou les habitats présents dans un territoire donné. Ils peuvent se limiter à une liste d'espèces, en général parmi des groupes bien connus (plantes vasculaires*, oiseaux, amphibiens,...). Des programmes d'inventaire de portée géographique diverse, nationale, régionale ou départementale, voire communale, sont aussi menés, portant dans ce cas sur un groupe particulier, par exemple dans le cadre de la réalisation d'un atlas, outil de connaissance à un moment précis.

8.2 Contexte

Les contextes sont variés et les programmes d'acquisition de données sur le patrimoine naturel peuvent s'inscrire dans un cadre réglementaire ou dans une démarche volontaire :

- **acquisition de données naturalistes**

la plupart des études s'intéressant au milieu naturel (études d'impact, plan de gestion,...) reposent en partie sur des listes d'espèces. Ces listes peuvent concerner en priorité les espèces dites patrimoniales (protégées, espèces menacées figurant sur des listes rouges...), dont le statut nécessite l'adoption de certaines mesures ;

- **inventaires ZNIEFF**

la définition des Zones naturelles d'Intérêt écologique faunistique et floristique repose sur des inventaires d'espèces et d'habitats naturels ;

- **programmes nationaux et régionaux**

de nombreux programmes ont pour objet de préciser la répartition des espèces et leur évolution dans le temps : les programmes de sciences participatives « Vigie-Nature » (suivis nationaux des oiseaux, des papillons, Vigie-Flore...), les plans nationaux et régionaux d'actions visant certaines espèces ou groupes d'espèces spécifiques (odonates, chiroptères, messicoles...), divers atlas nationaux, régionaux ou départementaux, atlas de la biodiversité dans les communes... Ces informations peuvent ensuite être synthétisées dans une base de données nationale telle que l'Inventaire national du Patrimoine naturel (INPN), qui synthétise les données du MNHN et de ses partenaires (ONF, FCBN, SHF...).

9) APPROCHE ENVIRONNEMENTALE DANS LE CADRE DE L'ÉLABORATION D'UN SCHÉMA D'AMÉNAGEMENT

Sont concernés dans ce chapitre les documents suivants : Plan local d'Urbanisme (PLU), Schéma de Cohérence territoriale (SCoT), parcs éoliens, Schéma départemental des Carrières (SDC).

9.1 Contexte

Dans le cadre de l'élaboration d'un schéma d'aménagement, une approche est déployée en vue de mieux identifier les enjeux environnementaux des projets d'aménagement.

Sont concernés : Plan local d'Urbanisme (PLU), Schéma de Cohérence territoriale (SCoT), Schéma départemental des Carrières (SDC)...

Dans ce cadre, l'approche environnementale aborde différents aspects (environnement physique et biologique, ressources naturelles, pollutions et nuisances, risques, vie quotidienne).

Les objectifs concernant directement les milieux naturels sont :

- d'éviter l'artificialisation de l'environnement physique et de préserver les espèces qui y vivent ainsi que la santé et la fonctionnalité des écosystèmes ;
- d'assurer l'utilisation durable des ressources naturelles.

Cette approche peut s'appuyer sur des expertises écologiques menées à l'aide d'outils de diagnostic écologique des milieux.

9.2 Rappel du cadre réglementaire

Le contenu obligatoire des documents d'urbanisme dans le domaine de l'environnement est défini par le Code de l'urbanisme. Les dispositions en la matière sont peu nombreuses mais importantes. Parmi ces dispositions figurent :

- l'article L110, qui assigne aux documents d'urbanisme, parmi d'autres objectifs, de « gérer le sol de façon économe, d'assurer la protection des milieux naturels et des paysages ainsi que la sécurité et la salubrité publiques » et de « rationaliser la demande de déplacements » ;
- l'article L121-1, modifié par la loi n° 2008-776 du 4 août 2008 – art. 103, qui prévoit notamment que les documents « déterminent les conditions permettant d'assurer :
 - l'équilibre entre le renouvellement urbain, un développement urbain maîtrisé, le développement de l'espace rural, d'une part, et la préservation des espaces affectés aux activités agricoles et forestières et la protection de la nature et des paysages d'autre part, en respectant les objectifs du développement durable ;
 - (...) une utilisation économe et équilibrée des espaces naturels, urbains, périurbains et ruraux, la maîtrise des besoins de déplacement et de la circulation automobile, la préservation de la qualité de l'air, de l'eau, du sol et du sous-sol, des écosystèmes, des espaces verts, des milieux, sites et paysages naturels ou urbains, la réduction des nuisances sonores, la sauvegarde des ensembles urbains remarquables et du patrimoine bâti, la prévention des risques naturels prévisibles, des risques technologiques, des pollutions et nuisances de toute nature » ;
- l'article L122-3 à L122-11 du Code de l'environnement concernant les schémas d'aménagement et de gestion des eaux ;
- les articles L122-1 (SCoT) et L123-1 (PLU), qui fixent les objectifs et énumèrent les moyens d'action de ces documents. Ils contiennent peu de dispositions obligatoires et, dans le cas du PLU, un grand nombre de dispositions facultatives. Celles-ci constituent la « boîte à outils » à la disposition des collectivités pour leur permettre de mener une politique environnementale par le biais de leurs documents d'urbanisme. Ce point sera examiné plus loin.

Les dispositions impératives ayant trait à l'environnement sont :

- **pour les SCoT :**
 - l'obligation d'élaborer un projet d'aménagement et de développement durable, de définir des objectifs relatifs à la protection des paysages, à la mise en valeur des entrées de ville et à la prévention des risques, et de déterminer les espaces et sites naturels ou urbains à protéger ;
 - l'exigence de compatibilité avec les dispositions de la charte du parc naturel ré-

Des méthodes de diagnostic écologique de milieux naturels : pour quels usages ?

gional, s'il en existe, et avec les orientations et objectifs de protection des SDAGE et des SAGE ;

- **pour les PLU :**
 - l'obligation d'élaborer un projet d'aménagement et de développement durable ;
 - l'exigence de compatibilité avec les dispositions, le cas échéant, du schéma de cohérence territoriale, du schéma de mise en valeur de la mer, de la charte du parc naturel régional, du plan de déplacements urbains, ainsi qu'avec les orientations et objectifs de protection des SDAGE et des SAGE, s'il en existe ;
- **pour le schéma départemental des carrières :**

le schéma départemental des carrières est avant tout un document de planification qui définit les conditions générales d'implantation des carrières mais aussi les objectifs à atteindre en matière de remise en état et de réaménagement des sites. Pour la définition des conditions générales d'implantation des carrières, il doit prendre en compte non seulement l'intérêt économique national, les ressources et les besoins en matériaux du département et des départements voisins, mais aussi la protection des paysages, des sites et des milieux naturels sensibles ainsi que la nécessité d'une gestion équilibrée de l'espace, tout en favorisant une utilisation économe des matières premières.

La réalisation du schéma départemental des carrières est prévue par l'article L515-3 du Code de l'environnement.

Code de l'environnement - Article L515-3 (Ordonnance n° 2004-637 du 1^{er} juillet 2004, art. 34-4, Journal Officiel du 2 juillet 2004 en vigueur le 1^{er} juillet 2005) (Loi n° 2004-1343 du 9 décembre 2004, art. 78 XXXII 4°, Journal Officiel du 10 décembre 2004 en vigueur le 1^{er} juillet 2005)

Décret 94-603 du 11 juillet 1994 relatif au schéma départemental des carrières

9.3 Contenu

Le document s'articule en plusieurs volets :

- un cadrage préalable, issu de la rencontre avec les acteurs locaux de l'environnement, et de l'étude de la bibliographie et des espaces naturels [annexe A] du secteur. Les principaux enjeux sont décelables dès cette étape importante, qui conditionne le déroulement du reste de l'étude ;
- un état initial, avec un indispensable passage sur le terrain, qui servira de référence vis-à-vis des impacts positifs ou négatifs, et de support pour les décisions d'aménagement (annexe B) ;
- une étape d'analyse des impacts ;
- une phase motivant les choix d'aménagements qui sont établis. Le rapport doit expliquer en quoi les choix retenus prennent en compte les objectifs de protection de l'environnement établis aux niveaux pertinents, du local au national, voire davantage ;
- une phase de bilan, présentant les orientations de développement, les incidences négatives, les mesures compensatoires et également les orientations de préservation des milieux naturels, et les incidences positives sur ceux-ci. Les résultats sont présentés sous la forme d'une cartographie des enjeux et des mesures compensatoires proposées.

Fiches à consulter :

- habitats naturels [fiche 8]
- flore [fiche 7]
- oiseaux [fiche 28]
- continuités écologiques (fiche 6)



Choix des méthodes de diagnostic écologique des milieux naturels

Choix des méthodes de diagnostic écologique des milieux naturels

Sous l'appellation « méthodes de diagnostic écologique », nous regroupons ici l'ensemble des méthodes permettant de mieux connaître les écosystèmes*.

C.1. QUELLES APPROCHES ET QUEL DÉROULEMENT POUR ÉTABLIR UN DIAGNOSTIC DES MILIEUX NATURELS ?

Afin d'évaluer la qualité écologique des milieux naturels, deux types d'approche peuvent être distingués : les approches physico-chimiques et les approches biologiques. Ces approches peuvent être complémentaires.

a) Les approches physico-chimiques

La connaissance physico-chimique d'un milieu peut permettre d'apporter des éléments de réponse sur sa qualité écologique. Par exemple, la qualité de l'eau d'une rivière peut être estimée selon les taux de nitrates, phosphates, oxygène, etc. Dans le cadre des carrières, les analyses peuvent porter, en particulier, sur la qualité des eaux de surface, sur l'impact des poussières, sur les types de sol (pour les options de réaménagement par exemple, on peut privilégier un sol pauvre en éléments nutritifs, favorable au développement d'espèces végétales particulières, adaptées à des conditions de vie difficiles).

Ces approches physico-chimiques par mesure directe ne sont pas développées davantage dans le présent guide. Cependant, ces facteurs physico-chimiques peuvent aussi être renseignés pour partie par l'étude des organismes vivants, objet du paragraphe suivant.

b) Les approches biologiques

Certains phénomènes biologiques ne peuvent pas être décrits par une approche physico-chimique. Par exemple, une pollution subie par une rivière plusieurs mois auparavant peut être indétectable par une analyse physico-chimique ponctuelle. Par contre, elle pourra être détectée en raison de la faible densité de poissons, décimés par cet épisode de pollution.

De très nombreux outils de diagnostic des écosystèmes ont été mis en place, lors d'études scientifiques le plus souvent. Un certain nombre d'entre eux sont aujourd'hui utilisés de manière plus fréquente par les gestionnaires de milieux naturels. Ce sont surtout ces outils qui sont décrits dans ce guide.

Il s'agit souvent des outils à la fois les plus pertinents et les moins contraignants à mettre en place.

De manière générale, ces outils peuvent donner une image :

- des milieux en présence,
- des espèces animales et/ou végétales inventoriées,
- de l'écosystème ou de l'un de ses compartiments via l'étude de taxons * indicateurs,
- des transformations de l'habitat, y compris par des événements passés.

L'UTILISATION D'ESPÈCES BIO-INDICATRICES

Parmi les bio-indicateurs, on utilise couramment des espèces (ou des groupes d'espèces) qui, par leur présence et/ou leur abondance, sont significatives d'une ou de plusieurs propriétés de l'écosystème dont elles font partie : espèces (ou taxons) « bio-indicatrices » ou plus simplement « indicatrices » (GUELORGUET ET PERTHUISOT 1984, BLANDIN 1986, CHARTIER-TOUZÉ 1997, COULMIER 2004, LEMOALLE *et al.* 2001, OERTLI *et al.* 2000 ...). Une espèce est ainsi utilisée comme un outil, et dénommée indicatrice lorsqu'elle reflète certaines caractéristiques du milieu étudié. L'état des populations de ces espèces peut servir à comparer des écosystèmes différents, de même que leur modification au cours du temps peut constituer un élément important lors d'un suivi.

Ces bio-indicateurs synthétisent un grand nombre de paramètres de l'environnement difficiles ou coûteux à mesurer individuellement : ce sont des intégrateurs biologiques dans la mesure où leur présence prouve que leurs diverses exigences écologiques sont satisfaites. Par exemple, la prospérité de la truite dans un ruisseau n'est possible que si l'eau est suffisamment froide et oxygénée en toutes saisons, la nourriture abondante, la pression de prédation supportable, la granulométrie du fond compatible avec la survie des œufs et alevins, etc.

Ces organismes « sentinelles » enregistrent les modifications de l'environnement résultant des actions humaines directes et locales (par exemple la pollution de l'eau), indirectes ou globales (le réchauffement climatique) ou strictement naturelles, comme la croissance de la végétation, les aléas météorologiques, l'érosion...

Il est important de ne pas confondre espèces indicatrices et espèces patrimoniales. Les espèces rares peuvent être indicatrices ou non, leur rareté rendant l'interprétation de leur présence/absence délicate. Au contraire, des espèces très communes peuvent être de très bonnes indicatrices, comme l'ortie qui indique un sol eutrophe (riche en azote).

Le choix des espèces bio-indicatrices doit s'appuyer sur différents critères, et en particulier : les objectifs de l'étude, les éléments de l'écosystème à étudier, l'abondance ou la diversité des espèces présentes, leur accessibilité (et donc le coût de leur étude), voire leur degré de popularité (facilitant la communication), leur intérêt cynégétique ou touristique, etc.

La prise en compte des variables biologiques et principalement de la présence d'espèces animales et végétales permet :

- de caractériser les aspects physiques et chimiques de l'écosystème ;
- de caractériser la biodiversité, via l'observation de la faune et de la flore;
- d'évaluer les effets à la fois individuels et cumulatifs de plusieurs sources de perturbation ;
- de disposer d'un bon outil de communication, pertinent et lisible par tous.

Choix des méthodes de diagnostic écologique des milieux naturels



Larve de *Perla marginata*,
indicatrice d'eau de très bonne qualité

LES INDICES

Lorsque l'évaluation repose sur un groupe d'espèces (indicateur composite), l'information récoltée est plus importante et il peut être utile de la « résumer » par des indices simples et synthétiques. Le plus employé en France est l'IBGN ou Indice biologique global normalisé (Verneaux 1982), puis normalisé AFNOR en 1992 (NF T 90-350). Il s'obtient à partir des invertébrés aquatiques récoltés selon un protocole standardisé en un point d'un cours d'eau. Les animaux sont déterminés, puis rangés en groupes selon leur capacité à résister aux altérations du milieu (pollution organique surtout). À chaque groupe est attribuée une « note » et l'indice est une sorte de moyenne pondérée de toutes les notes, de 20 pour l'état parfait à 0 pour un milieu complètement dégradé. Cet indice simple facilite les comparaisons entre divers secteurs ou cours d'eau, et entre années lors des suivis.

Il existe maintenant d'autres indices, élaborés ou en voie de l'être. Ils sont basés sur l'examen de divers groupes d'espèces (plantes, poissons, etc.) et rendent compte de caractéristiques variées du milieu étudié : richesse de sa biodiversité, degré de naturalité, salinité ou acidité, etc. (cf. [fiche 37] et Genin 1997). Des indices plus complets sont aussi élaborés pour évaluer la biodiversité d'un site entier en combinant quelques indicateurs simples, comme celui récemment proposé par DELZONS *et al.*, 2013.

Ces indices sont très utiles pour comparer des situations mais leur construction s'accompagne à la fois d'une réduction de l'information et d'une orientation vers un aspect volontairement privilégié du milieu étudié. Pour bien les comprendre, il est recommandé d'examiner aussi le tableau des valeurs à partir desquelles ils ont été établis.

Le déroulement d'une expertise écologique s'appuie sur :

a) un protocole comprenant un **plan d'échantillonnage** permettant d'organiser la collecte des données sur des bases scientifiques et dans un souci de représentativité ;

b) un **recensement** du patrimoine naturel :

aucune méthode ne pouvant à elle seule fournir toutes les données souhaitées, on utilisera un ensemble de méthodes complémentaires apportant une connaissance aussi exhaustive que possible de la zone d'étude.

Il est possible de classer ces méthodes en deux grandes catégories :

- **les méthodes qualitatives**

Ces méthodes permettent d'établir des listes d'espèces recensées sur un site et ses différents secteurs, en général parmi quelques groupes cibles : flore, oiseaux, papillons, libellules, etc. En revanche, elles ne renseignent pas sur l'abondance des populations ;

- **les méthodes quantitatives**

Ces méthodes s'appuient sur des comptages directs (taille de la population) ou sur des estimations. Elles fournissent à la fois des listes d'espèces et des données chiffrées sur l'abondance de ces espèces, exprimées selon des indices ou des densités.

Ces méthodes d'inventaire peuvent s'appliquer à un site (de carrière par exemple), à un ensemble de sites et à des suivis temporels.

Ces méthodes sont pratiquées selon des protocoles précisant le type de données à récolter (contacts, captures, traces, ...) ainsi que les périodes de passage, le matériel utilisé, etc. ;

c) une **analyse de données** pouvant comporter des traitements statistiques, et parfois complétés par des indices traduisant la richesse biologique, l'intérêt ou la qualité de l'écosystème étudié ;

d) une **interprétation** des résultats

Pour être aussi objective que possible, l'évaluation doit se fonder sur des comparaisons à des systèmes de référence clairement décrits et selon des critères bien définis.

La compréhension du fonctionnement écologique d'un écosystème nécessite de connaître un très grand nombre de paramètres. Une forêt ne se résume pas ainsi à la liste des arbres qui s'y trouvent. Elle est le fruit d'un faisceau de facteurs comme le climat, la géologie, le sol, l'altitude, la présence d'eau, ou encore l'utilisation historique des lieux par l'homme. Chacun de ces paramètres peut jouer sur les espèces qui vivent dans cette forêt. Pour connaître de manière exhaustive un écosystème, il conviendrait donc de répertorier les milliers d'espèces présentes et d'analyser en détail ses composantes physico-chimiques (acidité du sol, cycle de l'azote...).

Cette approche globale représenterait un travail colossal, hors de portée dans la pratique. Beaucoup de recherches scientifiques ont donc eu comme objectif de mettre au point des approches permettant de représenter l'essentiel d'un écosystème en restreignant son étude à un nombre réduit et accessible d'indicateurs aussi bien biologiques que physico-chimiques.

Le chapitre suivant exposera ces techniques de base, leur champ d'application, leurs limites et les contraintes associées.

C.2. CHOIX DES MÉTHODES DE DIAGNOSTIC ÉCOLOGIQUE

Ce chapitre est illustré avec l'exemple des sites de carrière.

La première étape incontournable consiste à définir clairement les objectifs de l'étude afin d'adopter une stratégie et un protocole de terrain permettant de répondre de manière fiable aux questions posées, tout en tenant compte des caractéristiques du site.

D'après GOSSELIN & GOSSELIN (2004), « les observations doivent être avant tout comparables, même si chaque observation doit malgré tout avoir un sens biologique ou écologique à sa propre échelle ». Un protocole normalisé rend les résultats comparables entre eux, d'un site à un autre ou d'une campagne d'échantillonnage à une autre, et reproductibles. Le choix d'un tel protocole permet d'élargir les connaissances sur l'évolution d'un site, ou d'estimer sa valeur écologique ou patrimoniale [fiche 1].

De plus, le choix de l'outil utilisé doit se faire en intégrant l'ensemble des contraintes propres au site (géographiques, climatiques), des moyens humains et financiers disponibles, et des échéances à respecter.

Enfin, l'histoire du site, les usages passés du sol, la nature des plantations, doivent eux aussi être pris en compte.

Les outils de diagnostic privilégiés dans la pratique seront donc ceux présentant le meilleur compromis entre une pertinence maximale des résultats et les moyens financiers et humains disponibles, dans un pas de temps en adéquation avec les contraintes économiques de l'exploitation.

Les méthodes de diagnostic écologique pourront être choisies selon :

- 1) le type d'étude,
- 2) l'objectif et les priorités de l'étude,
- 3) l'échelle géographique,
- 4) le type de site.

1) CHOIX DES MÉTHODES SELON LE TYPE D'ÉTUDE

Les méthodes de diagnostic écologique des milieux peuvent être utilisées dans différents contextes et pour différents types d'études :

- investigations préliminaires (pré-diagnostic)
- volet faune/flore de l'étude d'impact
- étude d'incidence Natura 2000
- étude d'incidence « loi sur l'eau »
- demande de dérogation aux interdictions portant sur des espèces de faune et de flore sauvages protégées
- approche environnementale dans le cadre des documents d'urbanisme et schémas d'aménagement
- élaboration d'un plan de gestion d'espèces ou d'espaces
- élaboration d'un plan de surveillance de la qualité d'un espace
- programme d'acquisition de données sur le patrimoine naturel

Chevalier aboyeur (*Tringa nebularia*) - Il est régulier sur les bords des gravières lors des migrations. Les marques colorées qu'il porte aux pattes permettent de reconnaître l'individu même à distance.



O. Delzons

2) CHOIX DES MÉTHODES SELON L'OBJECTIF ET LES PRIORITÉS DE L'ÉTUDE

Les méthodes retenues pourront être utilisées dans différents contextes :

- **état des lieux avant travaux** (ouverture ou extension d'une carrière) ;
- **suivi** d'un site, par exemple avant aménagement puis, selon un pas de temps, après l'aménagement ;
- **comparaison de l'état du site par rapport à un état de référence**. Pour les carrières, l'état de référence peut être l'état non réaménagé, l'état antérieur du même écosystème, l'état d'écosystèmes réaménagés différemment. Cela peut être aussi des milieux naturels fonctionnant de manière similaire et acceptant donc la comparaison, comme un étang et une carrière en eau, une falaise et un front de taille, une annexe fluviale et une carrière en eau temporaire sur substrat meuble, ou encore une steppe sableuse et une carrière sèche ;
- **évaluation d'un site**, c'est-à-dire analyse de données, augmentée d'un jugement de valeur (FROCHOT, 2002), lequel doit s'appuyer sur des comparaisons objectives.

En fonction notamment des milieux naturels présents, certains groupes ou facteurs sont étudiés en priorité :

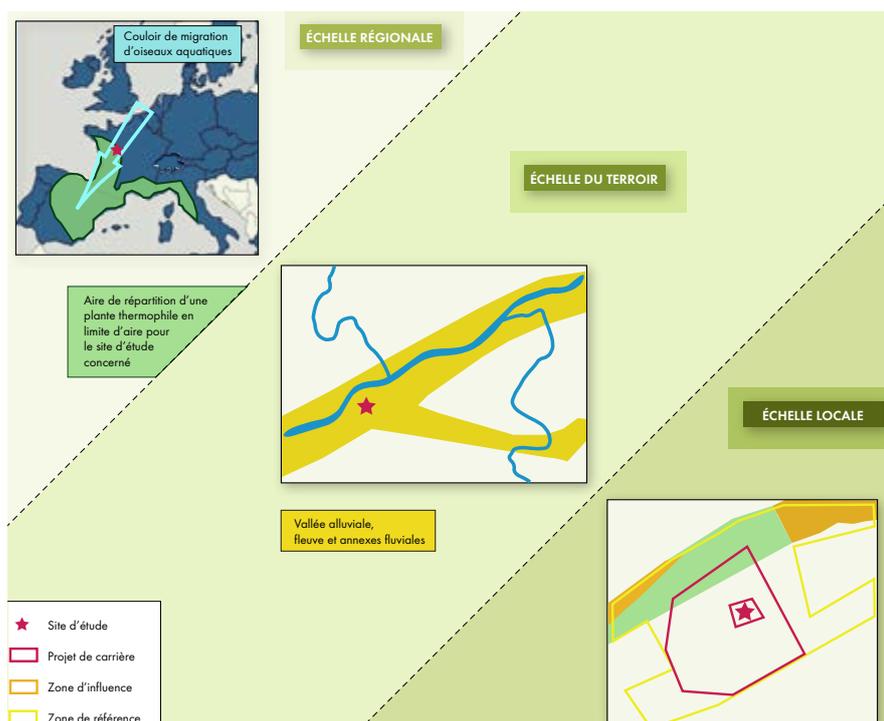
- pour des études élémentaires, ou comme préalables à d'autres études, **les habitats naturels** [fiche 8], **la végétation** [fiche 7] et **les oiseaux** [fiches 28 et 29] sont les groupes le plus souvent étudiés ;
- pour un site concerné par **Natura 2000** situé dans un SIC*, une ZSC* ou une ZPS*, ou à proximité, les espèces visées par la directive Habitats ou la directive Oiseaux sont étudiées prioritairement ;
- **les espèces protégées ou patrimoniales** (inscrites sur la liste rouge...) [annexe A] ;
- l'étude de **taxons* à large amplitude d'habitats** permet d'avoir une image de la globalité de l'écosystème, voire des écosystèmes voisins (grands mammifères par exemple, [fiche 30]) ;
- la prise en compte de **taxons** à valeur indicatrice au sens de l'information sur les caractéristiques de l'habitat (végétation et pH du sol par exemple) [fiche 5] ;
- les **taxons spécialisés** donnent une indication sur la valeur d'un habitat, comme par exemple les orthoptères* [fiche 15] en ce qui concerne les milieux ouverts. Leur emploi est plus limité, car il ne permet pas forcément la comparaison avec un autre site, ou un autre stade de végétation, dont ces taxons spécialisés sont naturellement absents ;
- la présence connue ou pressentie sur le site d'une espèce de très grande valeur **patri-moniale** peut rendre son étude prioritaire.
Par exemple, la découverte de tortues d'Hermann [fiche 27] sur un site de carrière du Var, hors de la zone où elle est présente avec de fortes densités (plaine des Maures), peut inciter les gestionnaires à rechercher cette espèce sur d'autres sites similaires du département (UNPG, 2007) ;
- la présence (avérée ou pressentie) de **micro-habitats** très spécifiques, comme par exemple des arbres à cavités susceptibles de fournir un abri à des coléoptères* saproxyliques [fiche 17].

3) CHOIX DES MÉTHODES SELON L'ÉCHELLE GÉOGRAPHIQUE

Quel que soit le type de carrière étudié, il est souvent nécessaire de considérer le site dans son contexte, à différentes échelles, de la plus globale (à l'échelle de la région, du pays, voire davantage) à la plus locale. Trois niveaux d'interprétation, imbriqués les uns dans les autres, peuvent ainsi être distingués (DASNIAS, 2002) : l'échelle régionale, l'échelle de la petite région naturelle ou terroir et l'échelle locale du site et de ses abords.

- **L'échelle régionale** replace le site dans son contexte global, à la dimension des aires de répartition biogéographiques. Les espèces et habitats naturels se répartissent en fonction de différents facteurs (climatiques, géographiques, historiques, etc.) sur des superficies plus ou moins vastes, parfois très restreintes, ou au contraire couvrant plusieurs continents. En fonction de la localisation du site étudié, il est utile d'établir une liste des habitats naturels attendus, en fonction de leur répartition, et des espèces qu'ils abritent. Une attention particulière est portée aux espèces en limite d'aire, qui peuvent être favorisées sur certains sites de carrière. Les espèces migratrices, et en particulier les oiseaux, se répartissent différemment selon les périodes de l'année : on distingue des aires de nidification, d'hivernage et, entre les deux, des couloirs de migration, que les oiseaux empruntent de préférence. Des sites disséminés le long des axes migratoires servent souvent de relais, permettant des pauses plus ou moins longues. La prise en compte de ces axes migratoires peut influencer sur le choix des périodes de prospection : par exemple, une gravière située sur un axe majeur de migration de canards doit être étudiée aux périodes correspondantes, pour évaluer si elle sert de lieu de pause aux oiseaux.

Figure 5 Échelles géographiques à prendre en compte lors d'une étude écologique



- **L'échelle de la petite région naturelle ou terroir** présente des caractéristiques homogènes en termes de climat, de géologie, de sols, d'hydrologie, de phytoécologie. Citons par exemple la Bassée, la baie de Somme, la Camargue, etc. Les données à cette échelle doivent fournir un aperçu des enjeux écologiques (liste d'espèces, fonctionnement des écosystèmes).
- **L'échelle locale du site et de ses abords.** C'est à cette échelle que se font les prospections détaillées de terrain. On distingue alors :
 - le site lui-même,
 - ses abords immédiats susceptibles d'être perturbés (zone d'influence),
 - les abords lointains (zone de référence) qui correspondent, par exemple, aux espaces naturels sur lesquels le projet pourrait avoir un impact. Ils sont considérés dans leur ensemble (ZNIEFF de type 2 dont une partie serait sous l'influence du projet par exemple).

4) CHOIX DES MÉTHODES SELON LE TYPE DE CARRIÈRE

Dans le cadre de carrières en exploitation, les principales caractéristiques à prendre en compte lors du choix des outils de diagnostic écologique sont les suivantes : caractéristiques géologiques, taille de la carrière, présence d'eau, âge de la carrière, position de la carrière dans le bassin versant, sa connexion avec les réseaux hydrographique et hydrogéologique ainsi que son réaménagement.

Les caractéristiques géologiques

Selon que la roche est par exemple calcaire, éruptive, ... ou bien meuble ou massive, les potentialités écologiques seront très différentes.

En effet, ces paramètres influent sur le mode d'exploitation, sur les habitats et les espèces capables de coloniser le site ainsi que sur le réaménagement et l'après-carrière.

La taille de la carrière

Une carrière de petite taille est assez facile à appréhender dans sa globalité, avec des inventaires complets de certains groupes (plantes, oiseaux, certains insectes), alors qu'un très grand site doit souvent être prospecté de manière non exhaustive, en choisissant des groupes faciles et rapides à inventorier, en ayant recours à des échantillons donnant une image représentative de l'ensemble. En outre, plus le site est vaste, et plus des espèces au domaine vital étendu pourront s'établir (oiseaux par exemple). On observe ainsi une corrélation entre le nombre d'espèces et la taille des plans d'eau.

La présence d'eau

L'eau est fréquente dans les carrières. La faune et la flore peuvent être très différentes si les plans d'eau sont permanents, permettant par exemple le développement des poissons, ou temporaires, ce qui éradique au contraire les poissons. Les amphibiens qui sont l'objet de la prédation des poissons trouvent ainsi des conditions optimales dans les mares temporaires.

De plus, les assècs rajeunissent le milieu et permettent le bon développement sur le long terme d'espèces pionnières. Les milieux très secs et chauds favorisent eux aussi des peuplements originaux et variés.

Choix des méthodes de diagnostic écologique des milieux naturels

Certaines carrières ont la particularité de contenir sur de faibles surfaces des milieux présentant un large panel de conditions hydrologiques. On distingue donc :

- les carrières sèches, présentant souvent un substrat difficile à coloniser par la végétation (falaise, éboulis). La constitution d'un sol rudimentaire pourra prendre plusieurs dizaines d'années, permettant le maintien de stades assimilables à des stades pionniers ;
- les carrières en eau permanente, où les communautés animales et végétales se transforment très rapidement au cours de la première décennie, puis évoluent plus lentement ;
- les carrières en eau temporaire, avec une période d'assec estival, qui favorisent les espèces colonisatrices à cycles courts, opportunistes (amphibiens par exemple). Chaque assec permet de plus une oxydation du substrat, augmentant la productivité, assimilable à un « rajeunissement » du milieu ;
- les carrières présentant à la fois plusieurs de ces caractéristiques.



D. Voeltzel (Encem)

Mare temporaire dans une carrière, milieu favorable pour la reproduction d'amphibiens comme le crapaud calamite (*Bufo calamita*)

L'âge de la carrière

Une carrière récente crée des habitats favorables aux espèces pionnières, pouvant se développer dans des milieux minéraux, incompatibles avec la présence de beaucoup d'espèces. Au fur et à mesure du vieillissement de la carrière, les milieux se banalisent généralement, évoluant lentement vers des milieux moins originaux, au détriment des espèces de milieux ouverts.

La position de la carrière dans le bassin versant

Une gravière en plaine peut générer des plans d'eau assez similaires à des bras morts de rivière ou à des berges régulièrement rajeunies par les crues, servant de milieu de substitution à de nombreuses espèces.

Par contre, en tête de bassin, près de cours d'eau rapides, les plans d'eau créés favorisent les espèces d'eau stagnante, qui peuvent perturber le fonctionnement du cours d'eau (FROCHOT, 2000).

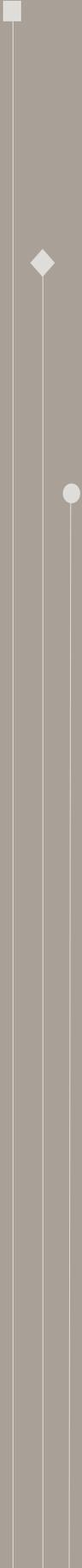
La connexion de la carrière avec les réseaux hydrographique et hydrogéologique

Les bassins de gravières présenteront des situations sensiblement différentes selon leur degré de connectivité avec les réseaux précités. Une inondation régulière au moment des crues rajeunit les berges et enrichit le milieu, alors que des bassins totalement déconnectés du cours d'eau et de la nappe ont un fonctionnement hydrologique propre, qui crée des conditions écologiques particulières.

Le réaménagement de la carrière

Les opérations de réaménagement sont susceptibles d'influencer l'installation et le développement de certaines espèces.

La création d'îlots nus peut permettre l'installation d'une colonie de sternes, le reprofilage des berges en pente douce augmente la diversité des plantes des rives, le maintien de surfaces de roches nues est favorable à un cortège de plantes original.



D Quelques principes à respecter

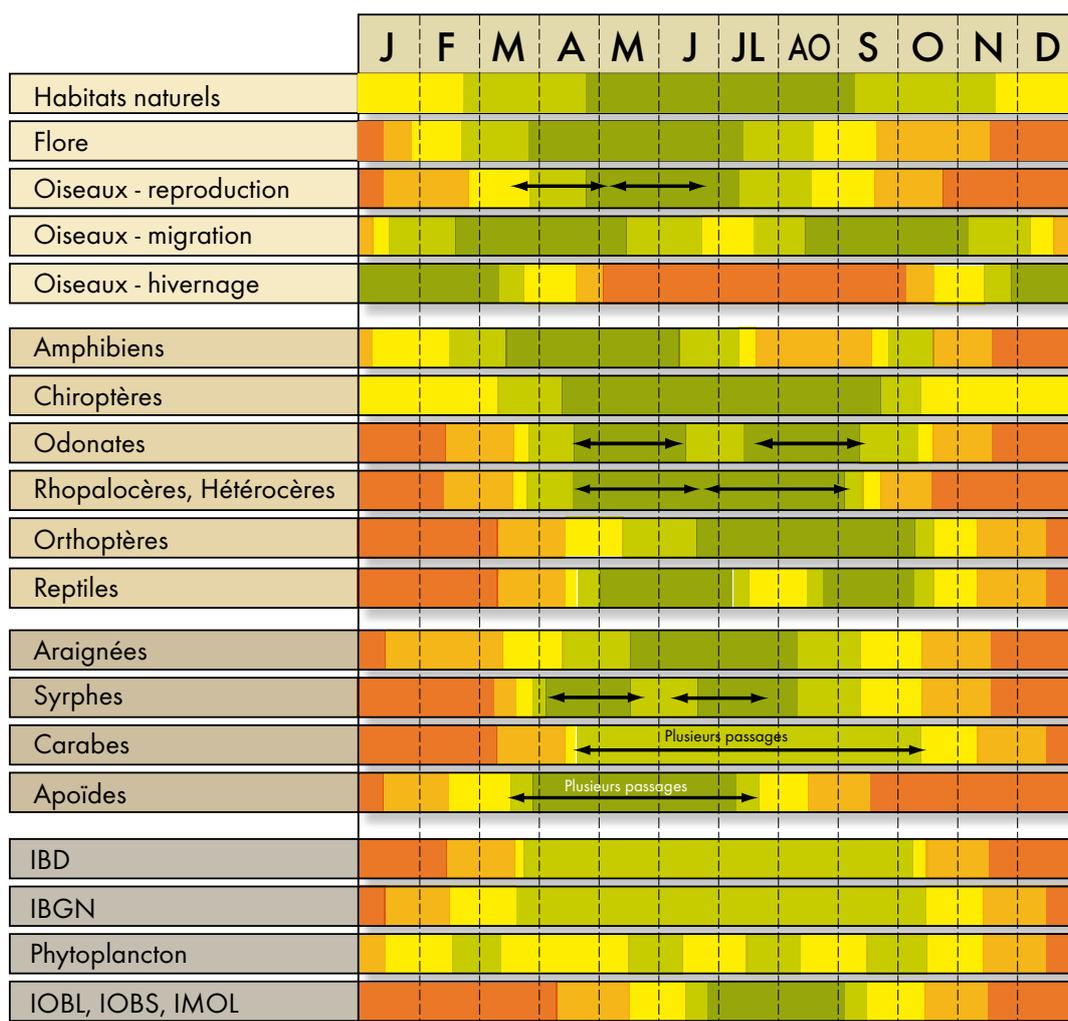
Quelques principes à respecter

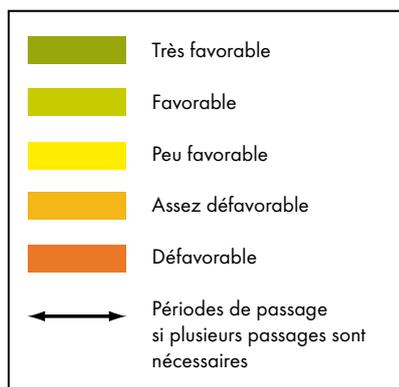
Le choix des périodes de prospection est crucial pour obtenir les informations souhaitées. Le tableau ci-dessous donne des indications générales sur les périodes favorables qui peuvent varier selon les régions, l'altitude ou encore les conditions météorologiques.

Les périodes de prospection sont un facteur déterminant des diagnostics écologiques. La mise au point des protocoles et l'interprétation des résultats obtenus doit toujours se faire en tenant compte des saisons. Le printemps est généralement plus favorable, en particulier pour la flore, les oiseaux nicheurs, les insectes, les amphibiens. Les mois d'été restent favorables pour une partie de la flore, certains insectes, ou encore les chiroptères, alors que l'automne et l'hiver sont des périodes creuses, avec certaines exceptions notables, comme en particulier les oiseaux migrateurs et les chiroptères hivernants.

Ces périodes sont données à titre indicatif, mais restent très variables, en fonction de l'altitude, de la latitude, des variations annuelles et selon les phénologies* de chaque espèce.

PÉRIODES DE PROSPECTION





RÉGLEMENTATION

Pénétrer sur un terrain en vue de procéder à des observations requiert l'autorisation obligatoire du propriétaire de ce terrain.

Pour des raisons de sécurité, mais également pour la bonne qualité des observations, il est généralement nécessaire de réaliser ces investigations sur le terrain par équipe de deux personnes, disposant d'un téléphone portable et d'une trousse médicale de secours.

L'identification des espèces animales et végétales nécessite souvent de manipuler des organismes.

Par exemple, les espèces de plantes sont souvent déterminées grâce à des structures difficilement visibles à l'œil nu comme des poils. L'utilisation d'une loupe, voire d'un microscope, est alors nécessaire, ainsi que la consultation de nombreux ouvrages de reconnaissance, intransportables sur le terrain. La récolte d'échantillons pour une identification ultérieure est donc, dans ce cas, nécessaire.

De la même façon, hormis quelques groupes assez faciles à repérer et à identifier comme les oiseaux, qui peuvent être reconnus grâce à leur chant ou à leur plumage, beaucoup d'espèces animales nécessitent d'être capturées pour être repérées, en particulier chez les insectes et autres invertébrés.

De plus, les mœurs discrètes, nocturnes, aquatiques, fouisseuses, de beaucoup d'animaux, rendent parfois nécessaire l'utilisation de pièges ou de dispositifs de capture.

PRÉCAUTIONS

Du plus simple filet à papillons, jusqu'au lourd système de pots-pièges, la manipulation d'organismes vivants n'est jamais sans conséquences !

La récolte de fleurs ou de fruits d'espèces rares à fin d'identification peut mettre en péril une population. La survie d'un animal aquatique est toujours plus ou moins compromise lors de sa capture, pour les poissons notamment. Un piège de capture, comme un pot-piège [fiche 6] rempli de liquide conservateur, se remplit d'insectes marcheurs, qui y périssent.

Beaucoup d'espèces sont fragiles, et la moindre blessure, même légère, peut mettre en péril les animaux capturés. Par ailleurs, certains systèmes de piégeage, non sélectifs, piègent sans discernement et sont susceptibles d'avoir un impact important sur les biocénoses*.



Un système de piégeage : la pêche électrique

Quelques principes à respecter



Rousserolle effarvate
Acrocephalus scirpaceus

Les études doivent donc être confiées à des personnes compétentes connaissant :

- les dispositifs législatifs de protection et les espèces fragiles et/ou protégées ;
- les espaces protégés et les contraintes qui y sont liées ;
- les dispositifs de capture, leurs limites, les risques liés à leur mise en œuvre, la manipulation des animaux.

La capture d'espèces protégées, leur déplacement, leur destruction, qu'il s'agisse des adultes, des œufs et des jeunes, vivants ou morts, sont interdites. Cependant, des dérogations peuvent être obtenues, si les raisons conduisant à la capture sont justifiées.

La dérogation aux mesures de protection doit être demandée par écrit à la préfecture du département concerné (CERFA n° 13616*01) comme spécifié dans le Titre I du livre IV du Code de l'environnement, arrêté du 19 février 2007 modifié fixant les conditions de demande et d'instruction des dérogations définies au 4° de l'article L411-2 du Code de l'environnement portant sur des espèces de faune et de flore sauvage protégées.

Figure 6

Formulaire CERFA de demande de dérogation pour la capture ou l'enlèvement, la destruction ou la perturbation intentionnelle de spécimens d'espèces animales protégées

La capture des espèces protégées est réglementée par le Code de l'environnement, livre IV « Faune et flore », « Protection de la faune et de la flore », chapitre « Préservation et surveillance du patrimoine biologique », sous-section « Autorisation de capture des espèces protégées », articles R411-6 à R411-14. Voir aussi à ce propos le paragraphe B-5) concernant les demandes de dérogation pour les espèces protégées.

Les espaces et les espèces protégées, et les réglementations les concernant, sont décrits en détail sur <http://inpn.mnhn.fr>



Exemple fictif

Exemple fictif

L'exemple présenté ci-dessous illustre de manière schématique les différentes étapes du processus d'évaluation écologique d'un projet de carrière (nouveau site d'extraction). Dans la mesure du possible, les différents cas de figure ont été abordés.

1) PRÉSENTATION DU SITE ENVISAGÉ POUR LE PROJET D'EXTRACTION

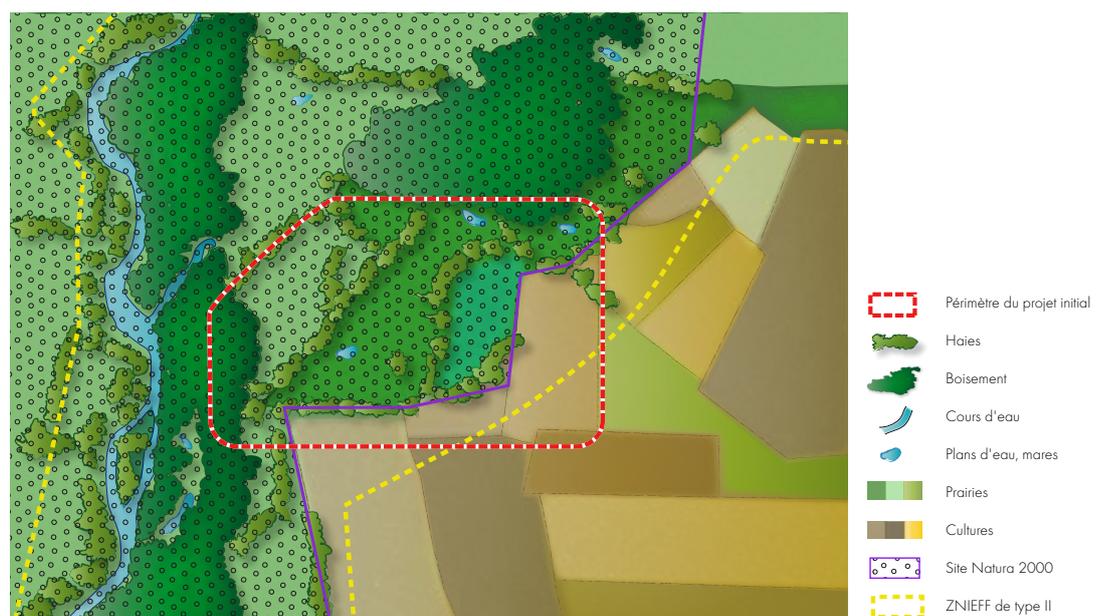
Le site envisagé pour le projet d'extraction se situe dans une vallée, entre un cours d'eau et une zone agricole. On distingue une zone bocagère de prairies humides, avec de nombreuses haies ainsi que des mares et un secteur d'agriculture intensive, avec un bocage fragmenté.

2) INVESTIGATIONS PRÉLIMINAIRES

La première étape de l'étude consiste à déterminer les caractéristiques du site et à mettre en évidence les enjeux.

L'analyse de la bibliographie, des échanges avec les acteurs locaux de la gestion de l'espace, et la prise en compte des zonages d'espaces naturels font rapidement ressortir que le projet se situe, pour une grande part, dans une zone de très grand intérêt écologique. En effet, le cours d'eau et ses annexes (boisements humides, prairies de fauche...) font partie d'un Site d'importance communautaire Natura 2000* (SIC) et d'une Zone naturelle d'Intérêt écologique, faunistique et floristique de type 2 [annexe A] (figure 7).

Figure 7 Espaces naturels concernés par le projet d'extraction

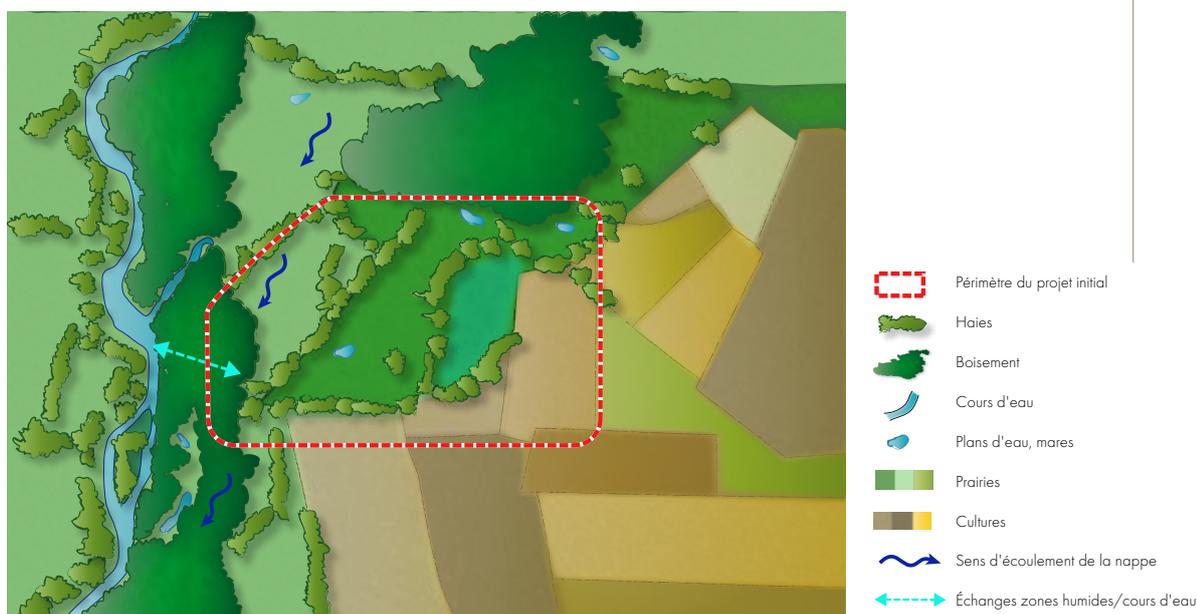


De plus, la proximité du projet avec le cours d'eau peut occasionner des modifications du régime des eaux du secteur (figure 8).

L'extraction de matériaux pourrait en effet avoir des conséquences sur le fonctionnement hydraulique : risques de perturbation de l'écoulement de la nappe phréatique et des échanges hydrauliques avec la rivière et les zones humides adjacentes.

Figure 8

Mouvements d'eau souterrains susceptibles d'être impactés par le projet d'extraction



3) REDÉFINITION DU PROJET

Si le milieu risque d'être notablement touché par le projet, une redéfinition de celui-ci est à envisager dans une logique d'évitement des effets négatifs.

Des prospections géologiques complémentaires sont alors menées dans le prolongement du projet en direction de la zone agricole intensive.

La redéfinition du projet permet de réduire les impacts sur la nappe phréatique. Ainsi les zones naturelles de grand intérêt sont évitées au maximum.

4) DÉFINITION DU SECTEUR D'ÉTUDE

La redéfinition du projet permet de préciser le nouveau périmètre d'étude (figure 10). Celui-ci comprend :

- une zone d'étude rapprochée, qui correspond aux limites du projet d'extraction et qui fera l'objet d'une analyse détaillée ;
- une zone d'influence, plus large, qui prend en compte les zones perturbées par le projet, comme les abords de la piste d'accès, source de bruit et de poussières, et les entités écologiques qui interagissent directement avec les espèces présentes dans la zone « d'étude rapprochée ». Par exemple, des amphibiens sont susceptibles de fréquenter, pour leur reproduction, les mares incluses dans le projet, et d'utiliser le reste de l'année le bois situé à proximité [fiches 25 et 26].

Par ailleurs, étant donné qu'une partie du projet se situe dans une zone Natura 2000, une étude d'évaluation des incidences (voir p. 28) devra donc être menée sur les espèces et habitats d'intérêt communautaire présents.

5) DIAGNOSTIC ÉCOLOGIQUE

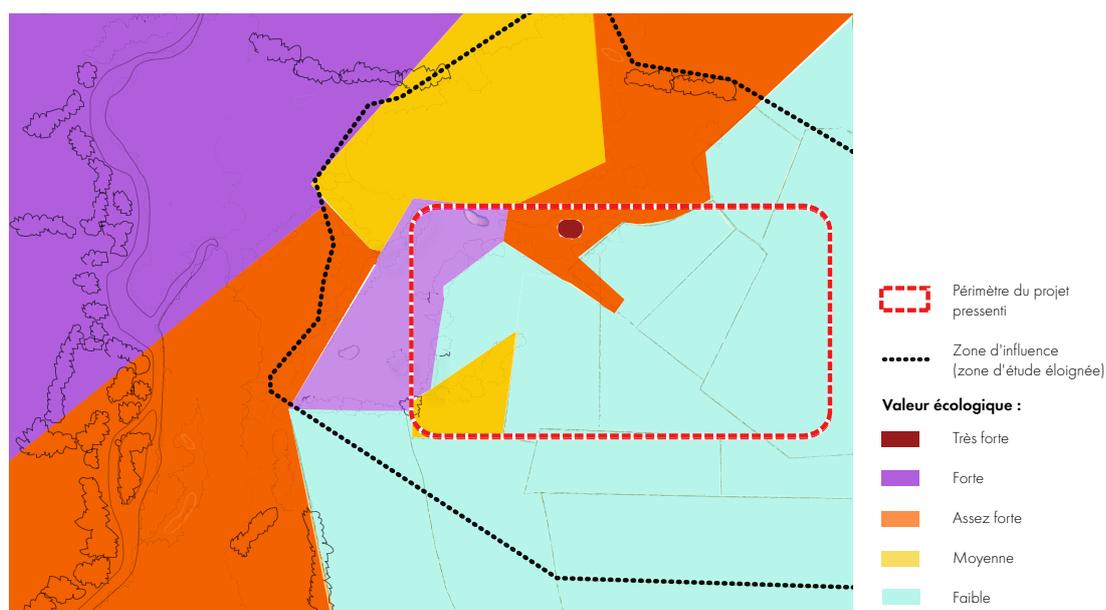
À présent, le diagnostic écologique peut être effectué, les prospections de terrain permettront notamment de définir les espèces et les habitats remarquables à prendre en compte.

Des zones sont identifiées et qualifiées en fonction de leur valeur écologique, et en particulier selon le nombre d'habitats et d'espèces présents, leur rareté, leur degré de menace et leur statut de protection [annexe B].

Cette qualification permet d'attribuer à chaque zone une valeur écologique (figure 9).

Figure 9

Synthèse de la valeur écologique des secteurs étudiés



On constate qu'une zone de « valeur écologique très forte » est présente à l'une des extrémités du périmètre du projet. Il s'agit d'une prairie humide à la flore très riche, avec une mare hébergeant une population de flûteau nageant (*Luronium natans*) (annexes II et IV de la directive Habitats) ainsi que plusieurs espèces de tritons, dont le triton crêté (*Triturus cristatus*) (annexes II et IV de la directive Habitats).

Ces espèces inscrites dans les annexes de la directive Habitats sont à l'origine de la désignation du site d'intérêt communautaire (SIC) et confèrent à cette zone un caractère remarquable.

6) ÉTUDE D'IMPACT

L'ensemble des données collectées sont à présent synthétisées et intégrées dans le volet « milieu naturel » de l'étude d'impact.

L'étude d'impact doit présenter, en tenant compte des caractéristiques du projet (plan de pha-

sage, remise en état coordonnée...) et des potentialités écologiques de la zone d'étude, les mesures suivantes :

- **mesures de suppression (éviter)**
les contours du projet sont redéfinis pour en exclure les deux prairies les plus sensibles, ainsi que la mare à *Luronium natans*. Les espèces et habitats de très grande valeur patrimoniale qui s'y trouvent seront ainsi préservés, compte tenu des techniques d'exploitation adoptées sur le site ;
- **mesures de réduction (atténuation)**
les contraintes techniques et économiques du projet ne permettent pas d'exclure la prairie de sensibilité « assez forte » du projet, et en particulier la mare qu'elle contient. La prise en compte du cycle de vie des amphibiens peut amener à adapter le phasage et les modalités d'exploitation ;
- si après mise en place de ces mesures de réduction, des effets résiduels demeurent, des **mesures de compensation** doivent être envisagées (figure 10).

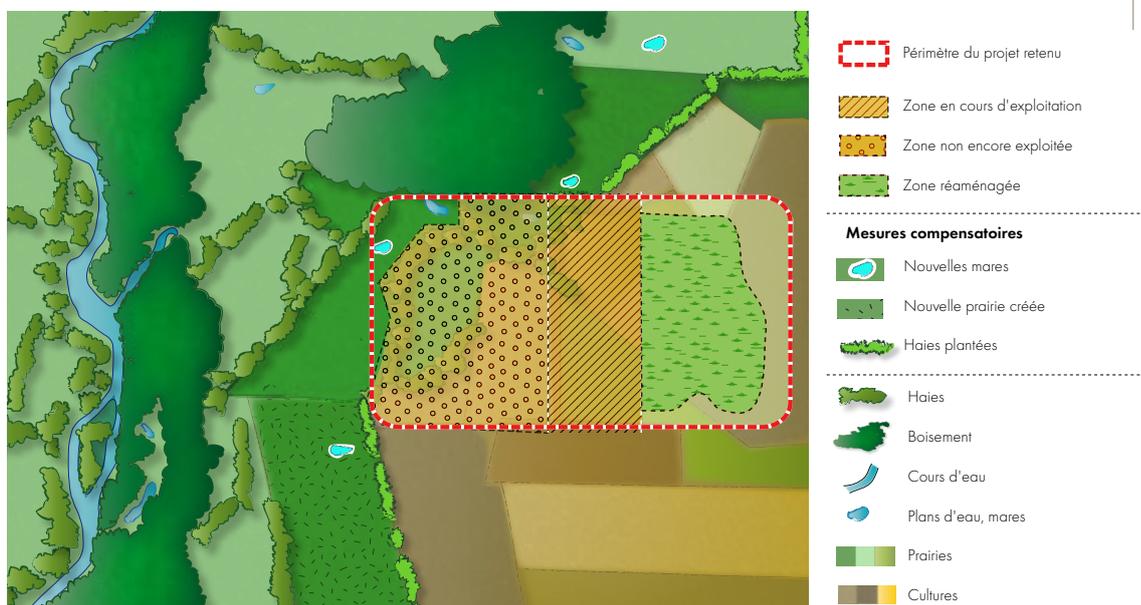
Par exemple, la destruction de la prairie humide et de l'habitat du triton crêté peuvent nécessiter, en contrepartie, la mise en place des mesures suivantes :

- maintien de deux prairies humides en l'état, et remise en herbe de deux parcelles ; un plan de gestion prévoyant l'entretien de ces milieux ouverts peut être élaboré ;
- création de quatre nouvelles mares de substitution creusées dans ces prairies, pour servir en particulier de sites de reproduction aux amphibiens.

La fonctionnalité du milieu sera donc maintenue, notamment en permettant aux amphibiens d'accomplir l'ensemble de leur cycle de vie.

Pour conclure, dans le cadre de cet exemple, on peut dire que la valeur écologique du site après réaménagement est au moins équivalente à celle du milieu initial (figure 7).

Figure 10 Mesures de compensation proposées





Bibliographie

Bibliographie

ABIES – *Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens*. – Ministère de l'écologie et du développement durable, 2004 – p. 17-51.

ALLAG-DHUISME F. et al. – *Choix stratégiques de nature à contribuer à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques – Premier document en appui à la mise en œuvre de la Trame verte et bleue en France*. – MEEDDM Éd., 2010 – Proposition issue du comité opérationnel Trame verte et bleue.

ALLAG-DHUISME F. et al. – *Guide méthodologique identifiant les enjeux nationaux et transfrontaliers relatifs à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques et comportant un volet relatif à l'élaboration des schémas régionaux de cohérence écologique – Deuxième document en appui à la mise en œuvre de la Trame verte et bleue*. – MEEDDM Éd., 2010 – Proposition issue du comité opérationnel Trame verte et bleue.

ALLAG-DHUISME F. et al. – *Prise en compte des orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques par les grandes infrastructures linéaires de l'État et de ses établissements publics – Troisième document en appui à la mise en œuvre de la Trame verte et bleue*. – MEEDDM Éd., 2010 – Proposition issue du comité opérationnel Trame verte et bleue.

ANONYME – *Présentation générale des principaux types d'études écologiques pour des installations de traitement de déchets*. – Écosphère-Sita Suez, 2008.

ANONYME – *Réalisation d'un guide méthodologique pour la réalisation des études faune/flore des sites*. – Écosphère-Sita Suez, 2008 – Document interne.

ASSOCIATION FRANÇAISE DES INGÉNIEURS ÉCOLOGUES (AFIE) – *Outils d'évaluation de la valeur écologique des milieux et des écosystèmes*. 2003.

BIOTOPE – *Guide sur la prise en compte des milieux naturels dans les études d'impact*. – DIREN Midi-Pyrénées, 2002.

BLANDIN P. – *Bio-indicateurs et diagnostic des systèmes écologiques*. – Bulletin d'écologie, 1986 – 17(4), p. 1-309.

CARRÉ C., CHARTIER M. – *La gestion d'une ressource non renouvelable : entre gestion durable et aménagement des nuisances, le cas des granulats alluvionnaires en Île-de-France*. – Annales de géographie, 2002 – 111(626), p. 406-418.

CHARTIER-TOUZÉ N., GALVIN Y., LÉVÉQUE C., SOUCHON Y. – *État de santé des écosystèmes aquatiques. Les variables biologiques comme indicateurs*. – Cemagref Éditions, 1997 – TECV et DOC.

CIZEL O., FARINETTI A. – *Le patrimoine écologique des zones humides issues de l'exploitation des carrières*. – Zones humides Info, 2001 – 33, p. 6-11.

DASNIAS P. (Écosphère) – *Aménagement écologique des carrières en eau : guide pratique*. – Paris : UNPG, 2002.

DELPECH R., DUMÉ G., GALMICHE P. – *Typologie des stations forestières – Vocabulaire*. – Paris : Institut pour le développement forestier, 1997.

DELZONS O. et al. – *L'IQE : un indicateur de biodiversité multi-usages pour les sites aménagés ou à aménager*. Rev. Écol. (Terre vie), 2013 – 68, p. 105-119.

Durand O. – *Carrières de roches massives, sablières, argilières des Mauges et biodiversité – Expérimentation 2002-2006, Résultats*. – CPIE Loire et Mauges, 2006.

ÉCO-MED, CORDOLANI – *Guide des bonnes pratiques – Aide à la prise en compte du paysage et du milieu naturel dans les études d'impact de carrières en PACA*. – DIREN et DRIRE PACA, 2006.

ÉCOSPHÈRE – *Étude sur l'aménagement des carrières à l'échelle du gisement*. – DRIRE IdF, 2006.

ÉCOSPHÈRE – *Le patrimoine écologique des zones humides issues de l'exploitation des carrières*. – Paris : CNRS, MNHN, Comité national de la Charte, 2001.

ENCENM – *Carrières de roches massives – Potentialités écologiques. Analyse et synthèse des inventaires de 35 carrières*. ENCEM, Comité national de la Charte, UNPG, 2008.

FAUCONNIER J.M. – *Fiches techniques du CDPNE. Gestion écologiques des espaces naturels*. – Comité départemental de Protection de la Nature et de l'Environnement, 2004.

FERRAND J.P., BARRÉ B. - *L'évaluation environnementale des documents d'urbanisme. Proposition d'une méthodologie pour favoriser l'intégration de l'environnement dans les SCoT, les PLU et les cartes communales.* - DIREN de Bretagne et DDE de Bretagne, 2006.

FIERS V. - *Guide pratique - Principales méthodes d'inventaire et de suivi de site.* - RNF, 2004.

FISCHESSER B., DUPUIS-TATE M.F. - *Le guide illustré de l'écologie.* - Éd. de la Martinière, 2004.

FROCHOT B. - *Comment évaluer l'intérêt biologique des réaménagements de carrières ?* - Rev. Écol. (Terre vie), 2002 - 9 p. 251-260.

FROCHOT B. - *Intérêt écologique et implications économiques des réaménagements de carrières. Méthodes d'évaluation et d'étude des trajectoires et vitesses d'évolution. Rapport du programme national de recherche « Recréer la nature ».* - Université de Bourgogne, 2000.

FUSTEC E., LEFLEUVRE J.C. - *Fonctions et valeurs des zones humides.* - Paris : Dunod.

GENIN B., CHAUVIN C., MÉNARD F. - *Cours d'eau et indices biologiques. Pollutions-méthodes-IBGN.* - Dijon : Educagri Éditions, 1997.

GOSSELIN F., GOSSELIN M. - « Analyser les variations de biodiversité : outils et méthodes. » In *Biodiversité et gestion forestière : connaître pour préserver* - Synthèse bibliographique sous la direction de Gosselin M., Larroussinie O. - Antony : GIP Ecofor-Cemagref Éditions, 2004 - p. 58-99.

GUELORGUET O., PERTHUISOT J.P. - *Indicateurs biologiques et diagnose écologique dans le domaine paraliq. - Bulletin d'écologie, 1984 - 15(1), p. 67-76.*

JACOB J.P., REMACLE A. - *La gestion des carrières en faveur de l'entomofaune : le cas de la carrière du Haut des Loges à Vance (province de Luxembourg, Belgique).* - Notes fauniques de Gembloux, 2005 - 57, p. 59-66.

LEFLEUVRE J.C. (DIR.) - *Carrières, biodiversité et fonctionnement des zones humides.* - Paris : Buchet Chastel, 2010.

LEMOALLE J., BERGOT F., ROBERT M. - *État de santé des écosystèmes aquatiques. De nouveaux indicateurs biologiques.* - Cemagref Éditions, 2001.

MAUPEOU DE L. - *Le patrimoine écologique des zones humides issues de l'exploitation des carrières.* - Zones humides Info, 2001 - 33 p. 3-5.

MELKI F., BIOTOPE. - *Guide méthodologique pour l'évaluation des incidences des projets de carrières sur les sites Natura 2000.* - Ministère de l'écologie et du développement durable, 2007.

MIMOUN D. - *Spatialisation de l'information : une aide à l'analyse hydraulique et paysagère développée lors de la réhabilitation des sites post-industriels - Cas des réaménagements des gravières en eau en milieu alluvionnaire.* - Thèse de l'ENSM, 2004.

OERTLI B. et al. - *Diversité biologique et typologie écologique des étangs et petits lacs de Suisse.* - Genève : OFEFP, Université de Genève, 2000.

REMACLE A. - *Les ardoisières de l'Ardenne belge. Intérêt biologique et état des lieux des sites en surface.* - Région wallonne, Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement, Division de la Nature et des Forêts, 2007 - 30 - Travaux.

REMACLE A. - *L'inventaire des carrières de Wallonie (Belgique) : présentation générale et aspects entomologiques.* - Notes fauniques de Gembloux, 2005 - 57, p. 73-79.

REMACLE A. - *Un site de grand intérêt biologique : la carrière de kaolin de l'Arfaye à Libin (province de Luxembourg, Belgique).* Natura Mosana, 2003 - 56(1).

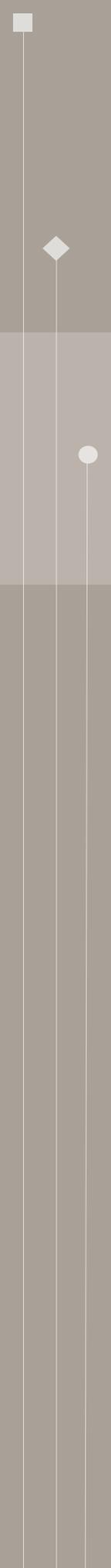
UNPG - *Carrière et développement durable.* - Réalisations. - Paris : UNPG, 2007.

USHER M. - *Wildlife conservation evaluation.* - London : Chapman & Hall, 1986.

VERNEAUX J. et al. - *Une nouvelle méthode pratique d'évaluation de la qualité des eaux courantes. Un indice biologique de qualité générale (IBG).* - Besançon : Ann. Sci. Fr. Comité, 1982 - 4(3), p. 11-21.

VOISIN J.F. - *Une méthode simple pour caractériser l'abondance des orthoptères en milieu ouvert.* - L'entomologiste, 1986 - 42, p. 113-119.





PARTIE 2

Fiches méthodologiques

Fiches méthodologiques

Cette seconde partie est constituée de fiches qui détaillent les méthodes employées, selon les groupes (flore, insectes, reptiles,...), selon la problématique (valeur patrimoniale, continuité écologique...), etc.

On trouve quatre grandes catégories de fiches :

- les fiches présentant des méthodologies générales pouvant porter sur des techniques (échantillonnage, transect...) ou sur l'interprétation des travaux de terrain (bio-indication, valeur patrimoniale...);
- des fiches concernant les habitats et la végétation dont l'étude est nécessaire pour caractériser les milieux en présence et évaluer leur qualité ;
- des fiches présentant des méthodes s'appuyant sur des taxons (flore et faune) souvent retenus pour leur caractère indicateur et/ou pour leur valeur patrimoniale. Nous avons choisi les groupes d'espèces les plus couramment rencontrés et pour lesquels on dispose de protocoles scientifiquement élaborés ;
- les indices, qui permettent de donner des valeurs synthétiques sur l'état de la biodiversité, particulièrement utiles pour des comparaisons entre sites, et entre plusieurs années pour un même site. Les indices présentés ont fait leur preuve et sont reconnus par les différentes parties prenantes.

Ces fiches n'abordent que très partiellement l'évaluation des habitats. Cette approche, bien que particulièrement importante, n'a pas encore donné lieu à suffisamment de protocoles éprouvés. Dans cet esprit, la profession travaille avec le programme ROSELIERE* à une méthode permettant de réaliser des suivis scientifiques standardisés de la biodiversité des carrières.

* Réseau d'Observation des Sablières en Eau libre à Intérêt écologique et réaménagement environnemental

Le programme ROSELIERE a été initié en 2006 par l'Association des Naturalistes de la Vallée du Loing et du massif de Fontainebleau (ANVL) et est piloté en partenariat avec de nombreux acteurs : UNPG, UNICEM, exploitants, scientifiques du MNHN, experts indépendants et membres d'autres associations. Son développement se fait dans une démarche de concertation garantissant l'élaboration d'un outil partagé par tous et adapté au contexte précis des carrières.

Le programme ROSELIERE est adapté aussi bien aux carrières de roches meubles que de roches massives, à tous les stades d'exploitation (avant, en cours et après réaménagement). Il propose des outils méthodologiques pour le suivi de la biodiversité en carrières. Son application se base sur un plan d'échantillonnage spécifique à chaque exploitation suivie, auquel sont associés des protocoles scientifiques standardisés pour le suivi de 12 groupes faunistiques et floristiques. Les méthodes sont appliquées de façon identique sur tous les sites et chaque année afin d'assurer la fiabilité des résultats et leur comparaison dans le temps et dans l'espace.

Les objectifs du programme sont :

- d'assurer un suivi temporel et spatial de l'évolution des taxons en parallèle de l'exploitation et des réaménagements,
- de comparer les données du site réaménagé par rapport à un état antérieur ou à d'autres territoires,
- d'évaluer et de comparer les méthodes d'exploitation, de gestion et de réaménagement pour éventuellement les adapter en fonction des enjeux,

- d'élaborer des indicateurs spécifiques.

Un document de synthèse reprenant les principaux indicateurs est rédigé pour chaque site afin de communiquer et diffuser les résultats auprès des partenaires, des acteurs régionaux et nationaux concernés et du grand public. Le programme est actuellement développé sur une quarantaine de sites répartis dans toute la France. Les premiers résultats sont d'ores et déjà prometteurs et laissent présager de fortes opportunités de valorisation des données récoltées.

Pour en savoir plus :

Contact : Marion PARISOT-LAPRUN, ANVL
roseliere@anvl.fr
01 64 22 61 17

Parisot-Laprun M., 2015. Guide d'application du programme ROSELIERE : suivi scientifique standardisé de la biodiversité en carrière. Partie 1 : Recueil de protocoles - Version 4. ANVL pour UNICEM IDF et UNPG. 70 p.

Parisot-Laprun M., 2015. Guide d'application du programme ROSELIERE : suivi scientifique standardisé de la biodiversité en carrière. Partie 2 : Description du site - Version 2. ANVL pour UNICEM IDF et UNPG. 42 p.

Chaque fiche est structurée de la façon suivante :

- des généralités sur la méthode ou l'espèce,
- une description de la ou des méthodes ainsi que des précisions sur les périodes de prospection appropriées,
- des références bibliographiques.

En ce qui concerne les listes d'espèces, l'utilisateur du présent guide devra veiller à actualiser en permanence ses connaissances sur la réglementation et sur les statuts de menace (liste rouge...)

Pour la liste rouge des espèces menacées en France, voir les liens suivants :

<http://www.uicn.fr/Liste-rouge-France.html>

<http://inpn.mnhn.fr/telechargement/acces-par-thematique/listes-rouges>

À noter qu'il peut exister des listes régionales d'espèces menacées.

Pour les espèces sauvages de France métropolitaine, voir :

<http://inpn.mnhn.fr/reglementation/protection>

Pour toute information officielle, voir : <http://www.legifrance.gouv.fr/>

Les approches générales



Méthodes/Généralités - **1**

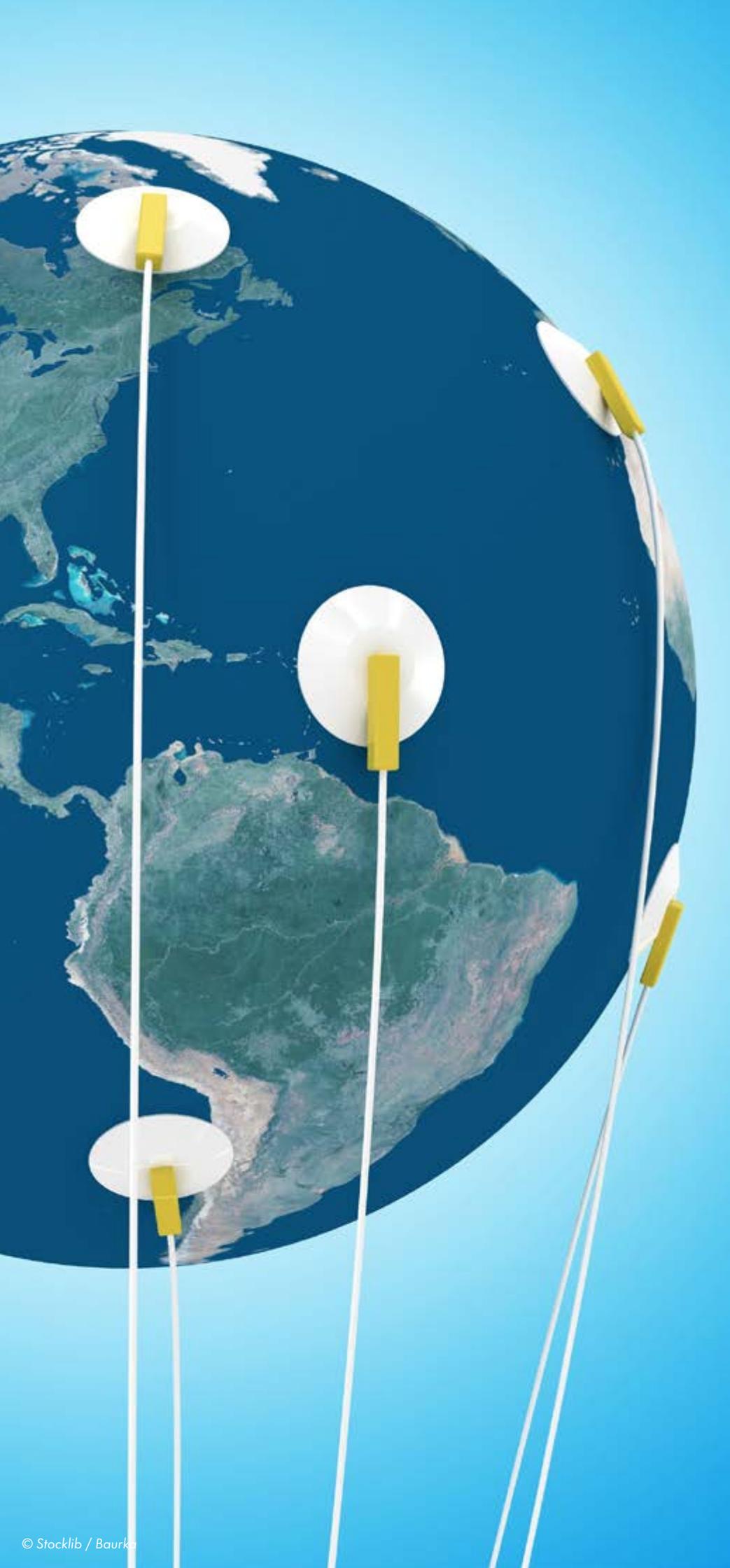
Transects - **2**

Capture-marquage-recapture - **3**

Enlèvements successifs - **4**

Bio-indication - **5**

Continuité écologique - **6**



01

FICHE 1

Méthodes/Généralités



© Stocklib / Baurka

MÉTHODES

GÉNÉRALITÉS

Le diagnostic écologique s'appuie en premier lieu sur des inventaires de terrain, réalisés selon des méthodes précises et reconnues et si possible standardisées. Le déroulement d'un tel diagnostic gagne à être structuré selon les étapes suivantes :

- **définition de l'objectif** : ce qui implique également la définition de la question posée et des éléments de connaissance à apporter ;
- **ajustement**, en fonction des moyens recensés, des méthodes et plans d'échantillonnage choisis, voire des objectifs fixés ;
- **choix d'une méthode de récolte des données**. Il faut faire le choix d'une technique de terrain adaptée à la fois à l'objectif de l'étude et aux moyens disponibles ;
- **saisie, mise en forme** (tableaux, graphes, cartes...), analyse des données, tests statistiques... ;
- **choix d'un plan d'échantillonnage**, qui définit le type et le nombre des unités d'échantillonnage ainsi que leur répartition dans l'espace et dans le temps ;
- **interprétation des résultats** à partir de comparaisons, de recherche des causes, et réponse à l'objectif défini au départ.
- **inventaire des moyens disponibles**, en temps, moyens humains et matériels, financements... ;

Seuls les trois premiers points (définition de l'objectif, choix d'une méthode et choix d'un plan d'échantillonnage) seront développés dans les paragraphes ci-après.

DÉFINITION DE L'OBJECTIF

L'objectif d'une étude doit être très clairement défini.

Par exemple, il peut s'agir de mettre en évidence la sensibilité d'une espèce de poisson à la pollution. L'hypothèse

serait alors : « cette espèce de poisson est absente du cours d'eau si celui-ci est pollué ». Deux grands types de démarches pour répondre à la question posée peuvent être distingués :

- **une démarche expérimentale**, où les variables testées sont contrôlées artificiellement. Il s'agirait ici d'un aquarium où vivraient des poissons, dans lequel on déverserait un polluant afin d'estimer son effet. Cette approche a l'avantage de cerner précisément les paramètres étudiés. Cependant, cela ne reflète que partiellement les réalités de terrain, car l'aquarium est loin de reconstituer les conditions de vie, beaucoup plus complexes, de la rivière ;
- **une démarche descriptive** (et comparative), qui peut consister à décrire et analyser

le milieu suspecté de pollution, et tout particulièrement la qualité de l'eau. L'interprétation sera facilitée si cette approche se double d'une comparaison avec d'autres milieux, incluant des eaux exemptes de pollution. Cette démarche est le plus souvent adoptée pour l'étude *in situ* d'écosystèmes de grandes dimensions, tels que rivières, forêts, carrières... La mesure de certaines variables, ou la mise en évidence de corrélations entre variables vise à donner l'image la plus fidèle possible du système biologique naturel étudié.

CHOIX D'UNE MÉTHODE

Pour l'étude de la biodiversité, on distingue habituellement les inventaires (qualitatifs) des recensements (quantitatifs).

Les **inventaires** se limitent à dresser des listes d'espèces, sans chercher à quantifier les nombres d'individus animaux ou végétaux présents sur le site. Très relatifs et variables selon la longueur de l'étude, les périodes de passage, les compétences des observateurs et les groupes étudiés, ils apportent à la fois la liste des espèces présentes et leur nombre (ou richesse spécifique). Ils ne permettent pas de comparaisons très solides d'un passage à l'autre ou d'un site à l'autre mais bénéficient cependant d'une mise en œuvre simplifiée et facilement adaptable.

Les **recensements** apportent non seulement des listes et des nombres d'espèces, mais aussi des estimations de leurs effectifs (nombres d'individus ou abondance). Leur mise en œuvre s'appuie sur des méthodes relativement sophistiquées, qui expriment l'abondance des individus soit en densités (méthodes dites absolues), soit selon d'autres références que la superficie de l'habitat étudié (méthodes dites relatives ou indiciaires). Quant aux méthodes fréquentielles, elles expriment la fréquence des rencontres avec une espèce lors des inventaires.

Méthodes de recensement absolues

Elles permettent d'obtenir directement des densités ou abondances absolues, à savoir un nombre d'individus rapporté à une unité de surface, par exemple le nombre de couples d'oiseaux nicheurs par hectare de forêt ou de sauterelles par mètre carré de prairie...

Il est donc nécessaire de capturer ou de recenser la totalité des individus sur une surface donnée. Cette opération peut être longue mais reste relativement aisée pour les plantes et les animaux peu mobiles. Elle est plus délicate lorsqu'elle concerne des animaux mobiles : il peut s'agir de capturer la totalité des poissons d'un petit plan d'eau en pêche électrique, ou encore de dénombrer les couples d'oiseaux nicheurs en cartographiant leurs territoires...

Lorsque le site étudié est de grande superficie, les densités ne peuvent être estimées qu'en échantillonnant des surfaces limitées, jugées représentatives de l'ensemble du territoire ou bien en ne capturant qu'une partie des individus présents [fiches 2 et 3].

Ces méthodes absolues fournissent des résultats intéressants car facilement comparables entre sites et même entre espèces différentes. Leur coût est élevé car elles impliquent un temps de travail important sur le terrain (repérage, pièges, observations ou captures répétées...).

Méthodes de recensement relatives indiciaires

Les abondances sont, dans ce cas, mesurées via des comptages de type « sondages », par des indices donnant une image aussi fidèle que possible des abondances absolues. L'indice d'abondance est alors une unité méthodologique préalablement définie.

De très nombreuses méthodes permettent de mesurer ainsi une abondance relative, rapportée non pas à une surface mais à une unité d'échantillonnage. Il est ainsi possible d'obtenir un nombre de poissons capturés par longueurs de 10 mètres de filet, un nombre de carabes* par

puits-trappes et par nuit de capture, un nombre de papillons vus le long d'un transect de 400 mètres et parcouru en 10 minutes, un nombre d'oiseaux vus au passage d'un col en une matinée, ou entendus lors d'un comptage de 20 minutes selon un protocole précis, etc.

Ces méthodes sont souvent beaucoup moins coûteuses que les méthodes absolues mais exigent des unités d'échantillonnage parfaitement standardisées. Elles se prêtent bien aux comparaisons d'abondance au sein d'une même espèce (entre sites, entre années...) mais ne sont pas appropriées aux comparaisons entre espèces différentes.

Méthodes relatives fréquentielles

L'observateur ne distingue pas ici les individus différents d'une même espèce mais note la présence ou l'absence de l'espèce par unité d'échantillonnage. Il obtient alors une fréquence absolue (nombre d'unités d'échantillonnage dans lesquelles l'espèce est présente) et une fréquence relative (rapport du nombre d'unités d'échantillonnage avec présence de l'espèce au nombre total d'unités d'échantillonnage de l'échantillon). Les informations obtenues sont peu nuancées, et la relation fréquence/abondance doit être traitée avec prudence. En particulier, la fréquence reste sensible à la dimension des unités d'échantillonnage et au mode de distribution spatiale (ou temporelle) de l'espèce étudiée. Par exemple, certains oiseaux grégaires, vivant en troupes ou nidifiant en colonies, peuvent être à la fois très abondants et peu fréquents.

Le nombre d'unités d'échantillonnage doit être aussi grand que possible et les unités petites.

Ces méthodes relatives, qui nécessitent un cadre méthodologique rigoureux pour être fiables, bénéficient de protocoles simples et rapides à mettre en place. Elles ont l'avantage d'être applicables sur de grands espaces et lors de longs suivis, avec une bonne fiabilité statistique. Elles sont donc souvent utilisées.

Choix d'un plan d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage définit la manière dont les échantillons élémentaires sont répartis sur le terrain étudié (et éventuellement au long de la saison ou des années). Il est conçu de manière à ce que l'échantillon sélectionné représente aussi fidèlement que possible l'ensemble du milieu étudié.

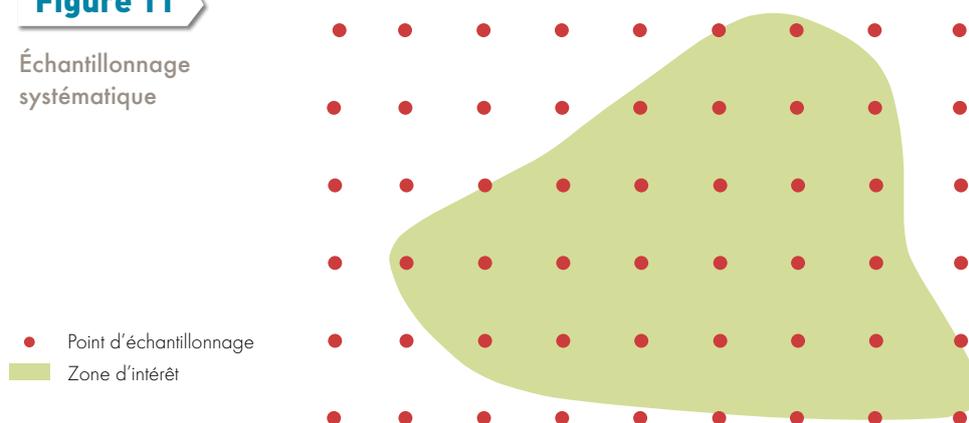
Ce plan est inutile quand aucune extrapolation des données recueillies n'est nécessaire et notamment quand le site concerné est suffisamment petit pour être étudié en entier.

Le plus souvent, et toujours lorsqu'on emploie des méthodes indiciaires, l'échantillon est fractionné en un certain nombre **d'unités d'échantillonnage (u.e.)** réparties sur le terrain : N transects kilométriques de même longueur, N animaux capturés et marqués, N séances de comptage de 20 minutes, N séances de capture selon le même protocole, etc. Pour la meilleure exploitation statistique des données, ces unités d'échantillonnage doivent être standardisées, restant identiques aussi bien dans l'espace la même année qu'au cours du temps entre années.

1. L'échantillonnage systématique

Les points étudiés (ou u.e.) sont répartis de manière homogène sur la totalité de la zone, ce qui permet une bonne couverture spatiale, et évite de sur- ou sous-échantillonner certaines parties. Dans le cas d'un milieu linéaire, tel qu'une rivière ou une route, les points peuvent aussi être placés régulièrement le long d'une ligne. Le pas de l'échantillonnage (distance entre les points) est un compromis entre le coût des inventaires ponctuels et les particularités du milieu étudié. En particulier, il y a un risque de biais lorsque l'espacement des points d'étude correspond à une périodicité sur le terrain. Ce pourrait être le cas, par exemple, pour un cours d'eau barré par des écluses à intervalle régulier de 2 km : le pas de l'échantillon ne devra pas être proche de 2 ou d'un multiple de 2. De même, dans une plantation forestière, le pas de l'échantillonnage doit différer nettement de celui de l'espacement des arbres. Ce plan ne correspond donc pas réellement à un tirage aléatoire, mais il s'en rapproche souvent en pratique.

Figure 11

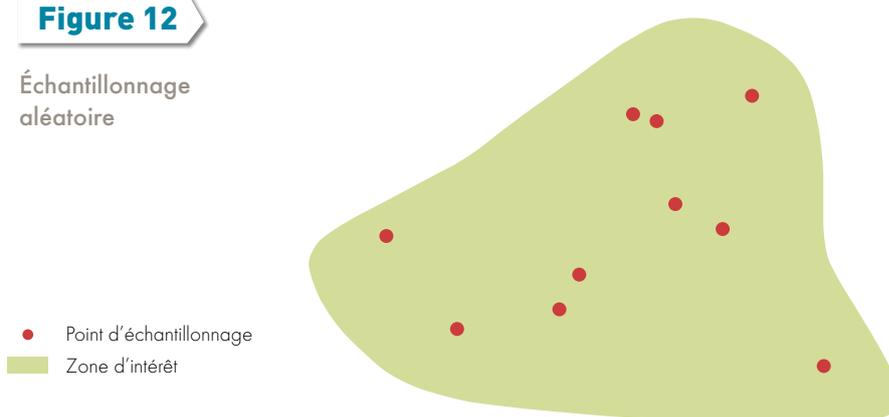
Échantillonnage
systématique

2. L'échantillonnage aléatoire

L'emplacement des unités d'échantillonnage est tiré au sort à l'intérieur de la zone à étudier, sans connaissance préalable du milieu. L'échantillonnage aléatoire simple est le plus couramment utilisé. Une zone d'intérêt est définie, par exemple si elle est susceptible d'accueillir l'espèce cible. Des coordonnées aléatoires (X, Y) sont définies pour chaque point. Seuls les points situés dans la zone d'intérêt sont pris en compte.

Une extrapolation est théoriquement possible, et on peut ajouter de nouveaux points. C'est un protocole théoriquement parfait, puisque l'opérateur n'exerce *a priori* aucun choix sur l'emplacement des prélèvements. Le nombre d'unités de comptage (points, lignes, pièges,...) doit être assez grand pour permettre au hasard de représenter l'ensemble. Les inconvénients sont le risque d'agglutination des points et la mauvaise couverture spatiale possible.

Figure 12

Échantillonnage
aléatoire

3. L'échantillonnage stratifié

Lorsque la zone d'intérêt n'est pas homogène, ce qui est souvent le cas dans la nature, les plans précédents risquent de négliger des zones petites mais originales. Inversement, un habitat qui couvre une grande partie de la zone sera sur-échantillonné. Par exemple, si l'étude se déroule dans une forêt, avec une

petite clairière et une mare, il est utile que le plan prenne en compte spécialement ces deux petits habitats. L'échantillonnage stratifié le permet, à condition d'avoir au départ une carte générale des habitats présents. On définira trois « strates » (forêt, clairière, mare) et on disposera dans chacune un nombre d'u.e. suffisant pour l'étudier correctement. Un nombre fixe de points est placé aléatoirement dans chaque strate. On parle d'un échantillonnage

stratifié. L'échantillonnage obtenu est équilibré d'une strate à l'autre, et il est possible d'ajouter de nouveaux points. Cependant, l'utilisation d'une stratification là où elle n'existe pas peut

entraîner de mauvaises interprétations. De plus, la multiplication de strates pour coller au mieux avec la réalité multiplie d'autant le nombre d'échantillons à prélever.

Figure 13

Limite d'un échantillonnage non stratifié ; un échantillonnage aléatoire sous-échantillonne l'aulnaie (« milieu humide »), qui n'est pas échantillonnée.

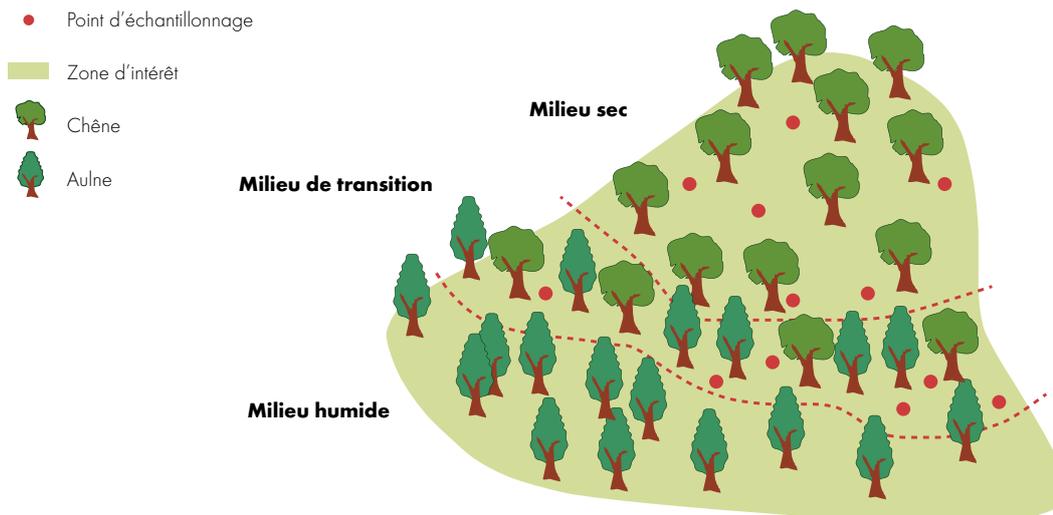
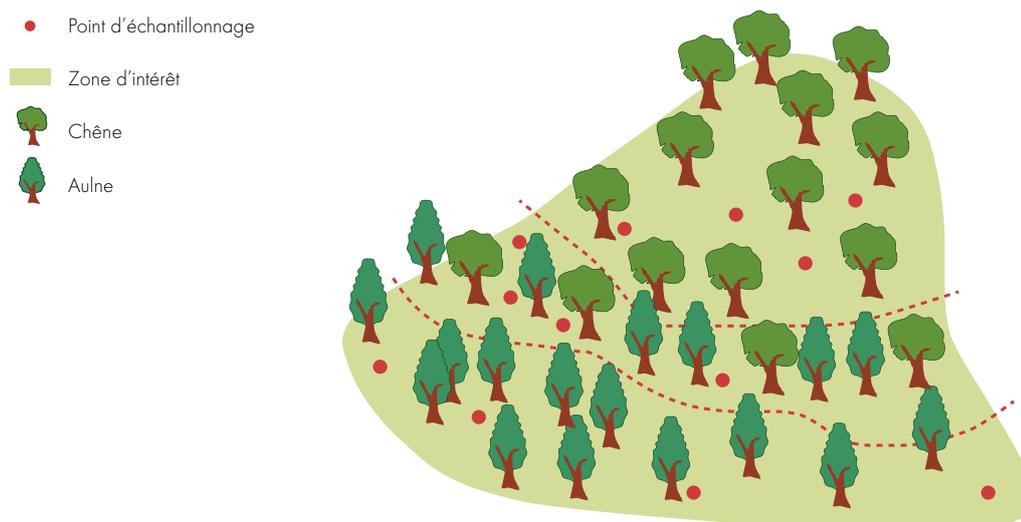


Figure 14

Échantillonnage stratifié ; l'échantillonnage par strate, avec 4 points par zone, permet une représentation valable de tous les milieux, avec une répartition aléatoire des points au sein de ces zones.



Cette approche est adaptable, par « allocation proportionnelle », avec une même fraction d'échantillonnage dans chaque strate, ou

par « allocation optimale », avec un effort d'échantillonnage modulé dans chaque strate.

4. Autres méthodes d'échantillonnage

Il existe des plans d'échantillonnage plus complexes, comme par exemple en grappes ou degrés, adapté, stratifié par tessellation..., envisageables lors de circonstances particulières. Il faut éviter tout échantillonnage dit « représentatif » (ou dirigé), dans lequel les sites échantillonnés seraient choisis par l'observateur selon ses propres impressions, nécessairement subjectives.

Dans le cas des « suivis », l'objectif est de mesurer les transformations subies par un écosystème ou des populations animales ou végétales pendant plusieurs années. Le plan d'échantillonnage doit aussi prévoir la distribution temporelle des unités d'échantillonnage (nombre par année, périodicité annuelle ou parfois pluriannuelle...)(FROCHOT 2010).

Leur distribution spatiale peut être prévue de deux manières : tirer au sort chaque année les u.e. ou bien conserver les mêmes localisations spatiales d'une année sur l'autre. Le re-tirage aléatoire est théoriquement recommandé pour des raisons purement statistiques mais la conservation des unités d'échantillonnage est plus souvent pratiquée. Elle présente le grand intérêt de réduire l'effet de la variation spatiale (l'écosystème étudié étant le plus souvent hétérogène) pour mieux déceler celui de la variation temporelle. On utilise alors des tests statistiques pour « variables appariées ».

5. Les sources d'erreur

La mesure des variables de terrain s'accompagne inévitablement d'imprécisions, parfois importantes (par exemple pour des animaux mobiles), dues à de nombreuses causes d'erreur. Pour limiter les imprécisions, ou en estimer l'importance, l'observateur doit distinguer les deux types d'erreurs classiques.

- **Les erreurs aléatoires**

Il s'agit des erreurs non orientées, qui peuvent provenir de la technique d'observation (peu précise), de l'observateur (inconstant), du plan d'échantillonnage (mal adapté) ou de l'objet étudié lui-même. Par exemple, le nombre des insectes capturés lors d'une séance de piégeage peut être sous-estimé dans certaines u.e. et surestimé dans d'autres. Si ces différences sont aléatoires, elles se compensent dans un grand échantillon. L'erreur aléatoire n'influence pas la valeur moyenne des mesures mais augmente la variation autour de cette dernière (mesurable par l'écart-type).

On peut en réduire l'importance par la collecte d'un nombre de données suffisamment grand (d'où l'intérêt des approches relatives, avec un nombre important d'u.e.) et par une standardisation sévère des protocoles.

- **Les erreurs systématiques, ou biais**

Ce sont des erreurs soumises à une tendance, qui amène à surestimer ou sous-estimer systématiquement le paramètre mesuré. Elles proviennent souvent de la technique d'observation utilisée, des tendances de l'observateur, ou bien du plan d'échantillonnage (par exemple lorsque ce dernier privilégie certaines parties de l'habitat étudié).

Elles peuvent passer inaperçues, d'autant plus qu'elles se doublent de l'erreur aléatoire habituelle. Une manière de les détecter est de tester, sur le même objet d'étude, des techniques de mesure différentes.

On peut aussi réduire l'impact des erreurs systématiques en travaillant à méthode constante, et à plan d'échantillonnage constant : les comparaisons entre échantillons (entre années, entre milieux différents ...) sont alors possibles puisque toutes les mesures subissent le même type d'erreur.

BIBLIOGRAPHIE

FROCHOT B. – *Les méthodes de recensement d'oiseaux appliquées aux suivis pluriannuels.* – Rev. Sci. Bourgogne-Nature, 2010 – 11, p. 123-130.

FRONTIER S. – *Stratégies d'échantillonnage en écologie.* – Paris : Masson, 1983.

SCHERRER B. – *Biostatistique* – Montréal : Gaëtan Morin Éditeur, 2009.



02

FICHE 2

Transects



TRANSECTS

GÉNÉRALITÉS

D'une manière générale, le terme transect désigne un échantillonnage réalisé en ligne, le plus souvent rectiligne. Dans d'autres cas, il s'agit plus précisément de mesurer l'effet de gradients sur une variable (par exemple, les espèces végétales présentes, la hauteur de la strate herbacée, le nombre d'insectes par famille, l'abondance des oiseaux par espèce...). Autrement dit, l'observateur cherche à mesurer le taux de variation d'un élément (relief, humidité...), en fonction de la distance, le long d'un itinéraire.

MÉTHODE

L'échantillonnage selon un transect consiste à réaliser des relevés ou inventaires soit selon un parcours prédéterminé dans un milieu visuellement homogène, soit le long d'une ligne choisie de manière à représenter un gradient de l'environnement comme décrit ci-dessous.

La ou les lignes sur lesquelles l'étude doit porter sont déterminées sur carte et sur le terrain. Par exemple, il peut s'agir d'une ligne perpendiculaire à une rivière pour étudier la variation de la végétation selon un gradient d'humidité. Chaque ligne peut être matérialisée par une corde tendue entre deux piquets.

Les relevés sont réalisés par placettes de part et d'autre de la corde (par

exemple, pour une ligne de 100 m, 20 blocs de 5 m de long sur 1 m de large, soit 0,5 m de chaque côté de la corde). Selon l'objet de l'étude, les placettes peuvent être rondes ou carrées, voire réduites à un point ; elles peuvent être contiguës ou non. La longueur de la ligne de transect est très variable, et la surface des placettes également. Les relevés peuvent porter par exemple sur toutes les espèces rencontrées, sur la densité de strate herbacée, ou encore sur la hauteur de végétation.

Une série de relevés, de mesures, est obtenue, localisés le long d'une ou de plusieurs lignes géographiques permettant de mettre en relation la variable étudiée avec d'autres facteurs du milieu.

Tableau 1

Caractéristiques d'application de la méthode des transects

Méthode	Transects
Domaines d'application	Cette méthode peut s'appliquer à un ensemble de relevés floristiques, à des indices descriptifs de l'avifaune*, à la hauteur de la strate herbacée, à toutes mesures susceptibles d'être comparées pour décrire le gradient étudié.
Limites	Le positionnement de la ligne de transect doit se faire exactement dans l'axe du gradient étudié. Il est souvent nécessaire de faire plusieurs transects parallèles afin de disposer de suffisamment de données pour conclure. Comme toute méthode visant à sélectionner une partie du territoire à étudier, elle ne peut prétendre fournir une liste exhaustive des espèces présentes. Elle s'applique surtout à une connaissance des milieux, des groupements, des populations.
Compétences requises	Compétence en écologie générale (mise en relation des variables entre elles) et en autoécologie* de la variable étudiée (botanique et écologie végétale pour un transect destiné à l'étude des végétaux supérieurs, par exemple).
Coûts	La préparation du transect demande une à deux journées, car elle nécessite la prise en compte des attendus de l'étude, la visite rapide du territoire concerné et une connaissance approfondie des documents disponibles. La durée de réalisation est fonction de la variable considérée et de l'accessibilité du territoire étudié.

C'est une approche fréquemment utilisée, pour l'étude de nombreux groupes, car elle permet d'obtenir des données quantitatives et comparables, à l'aide d'un protocole simple et peu coûteux.

Elle est appliquée, par exemple, pour l'étude de la végétation [fiche 7], des oiseaux [fiche 29], des amphibiens [fiche 26], de certains insectes mobiles et facilement détectables (papillons [fiches 21 et 22], odonates [fiche 14]), etc.



FICHE 3

Capture-marquage-recapture



© Stocklib / Thorvis

CAPTURE MARQUAGE RECAPTURE

GÉNÉRALITÉS

Cette méthode, dite aussi de Petersen, permet d'estimer la densité d'une population en ne capturant qu'une partie de ses individus.

Le principe des approches par marquage/recapture consiste, dans un premier temps, à déverser dans le milieu un nombre d'individus marqués, le plus souvent (mais pas obligatoirement) capturés au préalable dans le secteur prospecté.

Dans un deuxième temps, les individus

marqués se répartissent au sein de la population. Et dans un troisième temps, un échantillon est capturé au hasard par un procédé, identique ou non, à celui de la première capture.

L'effectif total de la population est alors calculé.

MÉTHODE

La population étudiée doit absolument répondre à certains critères :

- la population doit être stationnaire, c'est-à-dire sans émigration ni immigration, ni recrutement ou mortalité. La station doit donc être isolée (une mare et ses amphibiens ou une rivière barrée par des obstacles naturels ou des filets) ou estimée isolée si les animaux sont peu mobiles et l'étude de courte durée (une population d'oiseaux nicheurs territoriaux, des mollusques...);
- la probabilité de capture doit être la même pour les individus marqués que pour les non marqués ;

- la recapture doit être un échantillonnage aléatoire. Pour cela il faut, mais il ne suffit pas, que les échantillons soient suffisamment grands : le nombre total d'individus marqués et l'effectif capturé à chaque fois doit être suffisant, sinon l'échantillonnage est trop faible et l'estimation imprécise ;
- le marquage doit rester pérenne, sans influencer la probabilité de recapture.

La mise en œuvre est préparée en déterminant le site et la population concernée, les éléments à relever à propos de chaque individu, en précisant les modalités et le matériel de capture et en

demandant les autorisations nécessaires.

Les individus sont capturés avec le matériel adapté puis marqués. Chaque marque peut être anonyme ou être identifiée par un numéro sur l'individu et sur une fiche décrivant les caractéristiques de celui-ci. Les individus sont relâchés après le marquage.

Les modes de marquage sont très variables et souvent propres à un groupe donné. Le plus simple est souvent l'application d'une tache « anonyme » de peinture ou de teinture, notamment chez les mammifères ou les oiseaux, les gastéropodes, certains insectes... Dans le cas, plus rare, où on cherche en outre à identifier les individus, on utilise alors des bagues, des marques nasales ou alaires pour

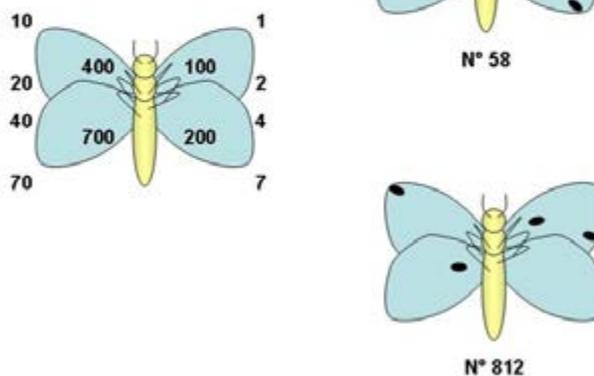
les oiseaux, des plaques numérotées ou puces électroniques, l'ablation de doigts pour les amphibiens, le limage de la carapace pour les tortues, etc.

Une nouvelle capture est alors effectuée, après que tous les individus marqués aient été relâchés et se soient « dilués » dans la population.

Le cas échéant, le numéro marqué lors de la première capture est relevé. Si une troisième capture est prévue, les individus capturés sans marques sont marqués à leur tour avant d'être relâchés.

Figure 15

Exemple de code utilisé pour marquer *Maculinea arion*, lépidoptère rhopalocère [fiche 21], in LHONORÉ 1998.



L'effectif total de la population est estimé selon :

$$N = M (n/m)$$

N = effectif inconnu d'une population,

M = nombre total d'individus capturés, marqués et relâchés, lors de la première capture

n = nombre total d'individus capturés lors de la deuxième capture

m = nombre d'individus capturés lors de la deuxième capture et portant une marque de la première capture (= recapturés).

L'intervalle de confiance de l'estimation de N est obtenu facilement à l'aide des abaques de CLOPPER ET PEARSON (reproduites dans diverses publications, par exemple ARRIGNON 1976 ou DAGET 1971).

De nombreuses autres approches statistiques ou probabilistes ont été développées pour affiner l'interprétation des résultats, exploiter des séries de captures successives, tenir compte de l'identité des individus (BEGON 1976).

Cette démarche de capture-marquage-recapture s'applique aussi désormais à des formes plus « virtuelles » de marquage et recapture comme le suivi dans le temps de la détection des signatures génétiques des mammifères.

Dans le cas d'une étude portant sur les effectifs du loup dans les Alpes françaises, par exemple, c'est la signature génétique identifiée dans les excréments récoltés sur le terrain qui sert de marquage individuel.

Certains modèles mathématiques alors utilisés permettent même de considérer le fait que toutes les signatures génétiques n'ont pas la même probabilité d'être retrouvées.

Ce sont ces modèles de dernière génération qui ont été appliqués au jeu de données « loup », prenant ainsi en compte les possibles mouvements d'animaux (en dehors du dispositif de suivi par exemple) et/ou les dépositions non aléatoires des crottes par les loups pour marquer leur territoire.

En effet, ces deux types de facteurs peuvent expliquer des différences de fréquence d'apparition entre des animaux différents.

Certaines espèces peuvent être étudiées par capture-marquage-recapture sans avoir à être marquées : ces animaux se reconnaissent en effet tous individuellement, grâce, par exemple, à un détail de leur coloris qui est unique.

C'est particulièrement vrai pour de nombreux amphibiens : salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*), triton crêté (*Triturus cristatus*), sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*).



R. Lecomte (Encern)

Triton crêté



Vue ventrale d'un triton crêté et du dessin unique qu'il porte

Tableau 2

Caractéristiques d'application de la méthode de capture-marquage-recapture

Méthode	Capture-marquage-recapture
Domaines d'application	Cette méthode s'applique plutôt aux populations animales peu mobiles (mobiles dans un périmètre ou dans un temps limité) durant la période de mise en œuvre de la procédure et dont les individus peuvent se prêter au marquage sans mettre leur survie en péril.
Limites	Il faut tenir compte des phénomènes de réaction ou d'accoutumance des animaux à la capture (attraction ou fuite). Le délai entre les deux campagnes de capture doit être faible afin d'éviter les changements dans la population (natalité/mortalité, immigration/émigration).
Compétences requises	Bonnes connaissances des espèces étudiées Habilitation de capture et de marquage
Coûts	La durée de mise en œuvre dépend de l'animal étudié. La préparation, notamment la mise au point d'une bonne technique de marquage et de capture, peut nécessiter une à deux journées. Par exemple, dans le cadre de l'étude de petits mammifères, la réalisation de la première capture peut prendre 1 à 4 jours pour 100 hectares, en fonction de la précision des observations à réaliser.

Avantages de cette méthode :

- les animaux sont remis dans le milieu rapidement, ce qui diminue la mortalité (contrairement aux méthodes par épuisement, où les animaux sont stockés hors du milieu durant tout le protocole) ;
- la densité estimée peut être encadrée par un intervalle de confiance directement mesuré sur des abaques ;
- les effectifs M et n des deux captures successives doivent être suffisamment importants mais n'exigent pas un effort de capture identique.

Limites :

- les individus marqués doivent se diluer dans la population ;
- le marquage ne doit générer ni mortalité ni modifications comportementales ;
- la méthode ne devient relativement précise que si le pourcentage de marqués M dans la population N est assez élevé (donc un rapport M/N grand : au moins 20 % si possible) ;
- il faut en outre que l'effectif n de la deuxième séance de capture soit élevé (donc m/n grand aussi).

BIBLIOGRAPHIE

ARRIGNON J. - *Aménagement écologique et piscicole des eaux douces*. - Paris : Gauthier-Villars, 1976.

BEGON M. - *Investigating Animal Abundance, capture-recapture for biologists*. - London : Edward Arnold, 1979.

DAGET J. - « L'échantillonnage des peuplements de poissons d'eau douce » In *Problèmes d'écologie. L'échantillonnage des populations animales en milieu aquatique*. Sous la direction de Lamotte M., Bourlière F. - Paris : Masson, 1971 - p. 85-108.

LHONORÉ J. - *Biologie, écologie et répartition de quatre espèces de lépidoptères rhopalocères protégés (Lycaenidae, Satyridae) dans l'ouest de la France*. - Rapport d'études de l'OPIE, 1998.



04

FICHE 4

Enlèvements successifs



R. Lecomte (Encem)

ENLÈVEMENTS SUCCESSIFS

GÉNÉRALITÉS

Les stratégies « par épuisement » visent à prospector exhaustivement la station à l'occasion de plusieurs prélèvements successifs qui doivent diminuer de façon sensible la densité en place d'organismes vivants. Au minimum, 20 % de la population doivent être prélevés à chaque passage.

Différentes interprétations statistiques sont ensuite utilisées, qui estiment l'effectif de la population en assimilant la diminution des taux de capture en fonction du nombre de passage, à des régressions linéaires (LESLIE) ou log-linéaires (DELURY).

MÉTHODES

Pour utiliser la méthode des enlèvement successifs, il faut que :

- la population soit stationnaire, c'est-à-dire sans émigration ni immigration et sans recrutement ni mortalité pendant la durée de l'étude. La population doit être isolée ou assimilée comme telle. Il peut s'agir, par exemple, de la population d'écrevisses d'une vasque, ou bien par exemple, dans le cas d'une pêche électrique aux poissons en rivière, d'une station cloisonnée en amont et en aval du lieu de pêche, naturellement (chute, seuil à fort dénivelé), ou artificiellement (filets barrages) [fiche 24] ;
- la probabilité de capture soit la même pour tous les individus ; il est donc obligatoire d'échantillonner à l'identique la totalité de la superficie de la station ;

- la probabilité de capture soit constante à chaque passage.

Cette dernière condition étant difficile à remplir dans certains cas, la méthode de CARLE & STRUB est utilisée (maximum de vraisemblance pondéré), qui autorise des probabilités plus faibles pour chaque passage.

Une partie de la population est donc enlevée, par un effort de pêche déterminé. Ces individus sont stockés hors du milieu en attendant la fin de l'opération. Un deuxième passage a lieu, répétant le même effort de prospection, puis un troisième, voire davantage si nécessaire.

L'effectif total est estimé graphiquement par l'intersection entre le prolongement de la courbe de régression des captures successives jusqu'à 0 et l'axe des captures cumulées.

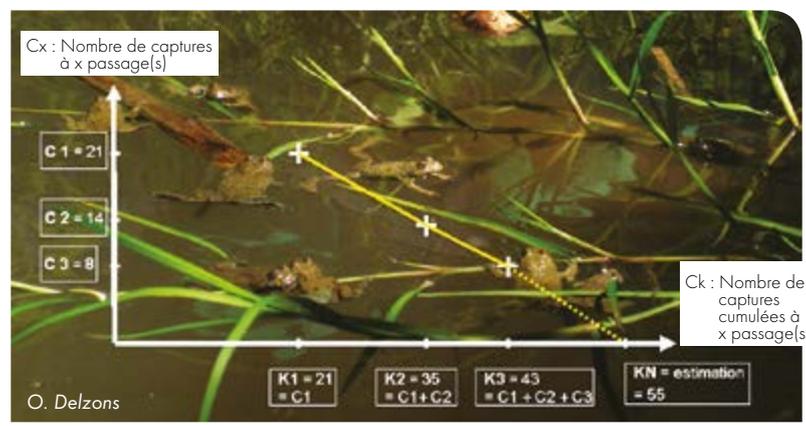
Dans le cas particulier de deux passages, on peut calculer l'effectif total estimé (N) selon :

$$N = C1^2 / (C1 - C2)$$

avec C1 : nombre de captures au premier passage et C2 : nombre de captures au second passage.

Figure 16

Exemple théorique de l'estimation d'une population de sonneurs à ventre jaune (*Bombina variegata*) d'une mare grâce à la méthode des enlèvements successifs



Cette méthode présente plusieurs inconvénients :

- l'effort de capture constant est difficile à réaliser ;
- contrairement à la méthode de capture-marquage-recapture [fiche 3], on ne peut pas connaître l'intervalle de confiance à l'aide d'abaques ;

- les animaux doivent être tenus hors de leur milieu tout le long du protocole, ce qui peut occasionner stress et mortalité.

Cette méthode est globalement assez grossière et traumatisante. Il est donc préférable, si l'on peut marquer les animaux (même sommairement), de recourir à la méthode des captures-marquages-recaptures.

Tableau 3

Caractéristiques d'application de la méthode des enlèvements successifs

Méthode	Estimation de densités et de biomasse par la méthode des enlèvements successifs
Domaines d'application	Cette méthode s'applique plutôt aux populations animales mobiles dans un périmètre limité durant la période de mise en œuvre de la procédure. Très utilisée, notamment pour les pêches électriques et le suivi des vertébrés aquatiques en général.
Limites	Il faut tenir compte des phénomènes de réaction ou d'accoutumance des animaux à la capture (attraction ou fuite). Le délai entre les deux campagnes de capture doit être faible afin d'éviter les changements dans la population (natalité/mortalité, immigration/émigration).
Compétences requises	Bonnes connaissances des espèces étudiées. Habilitation de capture et de marquage.
Coûts	Variable selon la superficie du site, la technique utilisée et l'espèce étudiée. Compter une demi-journée à une journée pour une équipe de plusieurs personnes.

BIBLIOGRAPHIE

DAGET J. - « L'échantillonnage des peuplements de poissons d'eau douce » In *Problèmes d'écologie. L'échantillonnage des populations animales en milieu aquatique*. Sous la direction de Lamotte M., Bourlière F. - Paris : Masson, 1971 - p. 85-108.



05

FICHE 5

Bio-indication



R. Lecomte (Encem)

BIO-INDICATION

GÉNÉRALITÉS

Une espèce est dite indicatrice quand sa présence, son absence ou son état renseignent sur certains caractères de l'écosystème qu'elle habite.

Chaque espèce ne reflétant qu'une partie de tout l'écosystème étudié, le choix des espèces indicatrices est donc déterminant quant à la pertinence du diagnostic.

Globalement, une **espèce indicatrice** possède certaines des caractéristiques suivantes :

- une écologie très bien connue (exigences, sensibilité, démographie, répartition...);
- une réponse aux perturbations corrélées, dans une certaine mesure, avec les réponses d'autres taxons;
- une valence écologique précisée : soit une valence très forte (espèce généraliste), renvoyant une image de nombreux compartiments de l'écosystème, soit une valence très faible (espèce spécialiste) nous renseignant, par exemple, seulement sur un microhabitat donné (coléoptères* saproxyliques*, [fiche 17]);
- une identification et observation relativement aisées, exigeant des compétences disponibles, et donc un coût d'étude suffisamment faible.

être retenu en fonction :

- de sa grande sensibilité à un type précis de perturbation (chiroptères* et leur habitat cavernicole [fiche 31]);
- de l'importance de son rôle dans l'écosystème en tant que prédateur et/ou proie ou, par exemple, dans la dispersion et l'enfouissement de graines (micromammifères [fiche 32]), ou encore la transmission de maladies;
- de son utilité dans l'indication des connexions entre écosystèmes;
- des renseignements qu'il apporte, complémentaires de ceux offerts par un autre groupe.

Lorsque l'indication est fondée sur un **groupe d'espèces**, celui-ci doit être suffisamment étoffé pour consolider et élargir l'information apportée, tout en restant dans une fourchette de coût raisonnable. L'idéal est de choisir les espèces relevant du même protocole d'observation ou de collecte.

Et, selon la nature des informations recherchées, ce taxon* indicateur peut

UTILISATION DES BIO-INDICATEURS

L'étude de taxons bio-indicateurs peut apporter des informations sur la biodiversité totale, sur sa valeur patrimoniale, sur la structure de l'écosystème ou sur son fonctionnement, et par là même sur la qualité et les potentialités des milieux.

1. Caractérisation des composantes physico-chimiques des écosystèmes

En milieu aquatique, la présence de diverses espèces de poissons ou d'invertébrés peut renseigner de manière rapide et économique sur le degré d'oxygénation de l'eau, sa température, le courant, le type de substrat... [fiches 23 et 33]. En milieu terrestre, la végétation comporte certaines espèces qui indiquent facilement le climat, la capacité des substrats, l'acidité du sol, sa richesse nutritive, son degré d'humidité... (COULMIER 2007).

2. Caractérisation de la biodiversité

La biodiversité peut être appréhendée à différents niveaux, génétique, spécifique ou au niveau de l'écosystème. Dans notre cas, les approches spécifiques seront la règle.

Parmi celles-ci, LEVREL (2007) distingue les approches à paramètre unique de celles à paramètres composites. Les méthodes à paramètre unique peuvent évaluer :

- la richesse spécifique globale, c'est-à-dire le nombre d'espèces présentes, peu informative sur la dynamique des écosystèmes, et infirmée par la présence d'espèces inconnues de la science ou très difficiles à échantillonner ;

- l'abondance d'une « espèce ingénieur », comme par exemple les vers de terre, qui influencent la croissance des plantes en retournant le sol ;
- l'abondance d'une « espèce parapluie », espèce à vaste territoire et révélatrice de l'état global de l'écosystème ;
- l'abondance d'une « espèce clé de voûte », au cœur de nombreuses interactions interspécifiques (grands prédateurs) ou à la base des réseaux trophiques (herbacées) ;
- l'abondance d'une « espèce hyper-spécialiste » inféodée à un type de micro-habitats.

Ces approches posent souvent des problèmes d'interprétation. Par exemple, la brusque variation des effectifs d'une espèce parapluie peut être synonyme d'un grave déséquilibre dans l'écosystème, mais il peut être aussi le simple fait d'une épidémie survenue brutalement.

Le recours à des indicateurs composites, c'est-à-dire à plusieurs espèces, voire plusieurs taxons, sera une manière d'éviter ces biais.

Lors d'une étude écologique, la flore et les oiseaux sont les deux groupes les plus couramment utilisés.

La flore est omniprésente, très bien connue, et permet de décrire les habitats et les conditions stationnelles, par exemple en terme de climat, de pédologie (nature du sol) ou d'hydrologie.

L'avifaune* permet une approche complémentaire, car elle nous renseigne sur la structure du paysage. Le recours à d'autres taxons est cependant parfois indispensable, pour préciser l'information, notamment à d'autres échelles (micro-habitats, stations de petite taille...).

Robert-le-Diable *Polygonia c-album*
Les insectes, avec plus de 35 000 espèces, sur 43 000 espèces animales connues en France métropolitaine, représentent une part prépondérante de la biodiversité.



P. Gourdain (MNHN/SPN)

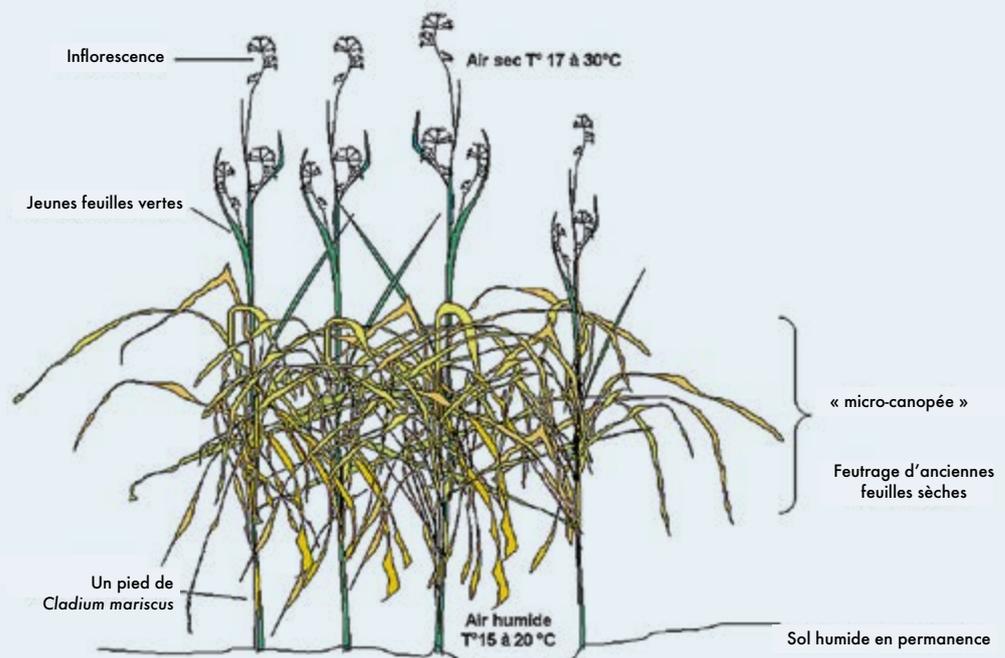
Un exemple de biodiversité « masquée » (d'après VILLEPOUX & DARINOT, 1999)

La réserve naturelle du marais de Lavours (Ain) abrite, au sein d'une tourbière alcaline, une formation presque pure de *Cladium mariscus* (marisque). Cette formation végétale, la cladiaie, très pauvre en terme d'espèces floristiques ou de grande faune, abrite pourtant une biodiversité extraordinaire.

En effet, la cladiaie comporte une couche très épaisse de feuilles mortes à environ 50 cm du sol,

délimitant deux compartiments. Au dessous de cette micro-canopée, l'air est très humide et frais, isolé des rayons du soleil, alors que la couche supérieure est inondée de lumière, avec un air très sec.

La réunion de conditions écologiques totalement opposées permet la coexistence de taxons aux exigences strictes et contraires, garantissant une biodiversité des arthropodes* très supérieure à celle des milieux environnants (en particulier des araignées, diptères* et lépidoptères*), avec de nombreux taxons spécialistes de ce milieu.



De plus, ce sont ces mêmes arthropodes qui se sont révélés être les meilleurs indicateurs lors d'un suivi. Le site a en effet bénéficié de mesures de gestion, alliant pâturage extensif et fauchage. Les marisques étant peu appétantes, elles ont été très peu broutées, et la végétation a peu évolué.

Cependant, une étude plus fine des arthropodes a montré une banalisation de la faune des cladiaies, avec la disparition des espèces les plus spécialistes au profit d'espèces généralistes, d'espèces de milieux perturbés ou provenant de milieux voisins.

Le piétinement par le bétail et le fauchage ont en effet radicalement bouleversé la structure verticale de la cladiaie, entraînant la disparition des espèces les plus caractéristiques.

C'est donc l'utilisation des arthropodes comme bio-indicateurs qui a permis de révéler cette perturbation de la structure verticale de la végétation, qui serait restée indétectable lors d'une étude classique de phytosociologie par exemple.

3. La présence d'espèces patrimoniales

Ces espèces peuvent être recherchées en priorité en tant que telles, ou décelées lors d'inventaires généraux ou d'études de taxons particuliers.

La valeur patrimoniale du site peut aussi être liée à l'originalité ou à la typicité d'un écosystème*. De plus, l'assemblage des communautés d'espèce peut lui aussi être inclus dans l'évaluation de la biodiversité (voir ci-après).

Un exemple de biodiversité supra-spécifique

Lors de l'inventaire des scarabéidés coprophages et des orthoptères* de la réserve naturelle de Prats-de-Mollo (Pyrénées-orientales), JAY-ROBERT *et al.* (1999) ont confirmé l'intérêt de la réserve en termes d'espèces patrimoniales, à deux niveaux taxonomiques.

La faune orthoptérique s'est révélée riche avec 22 espèces, dont un tiers d'espèces endémiques* des Pyrénées.

La composition taxonomique de la communauté de scarabéidés, forte de 17 espèces, ne présentait pas d'intérêt particulier, avec une seule sous-espèce endémique, et 16 espèces avec une très large aire de répartition. Pourtant, à y regarder de plus près, les scientifiques se sont aperçus de la



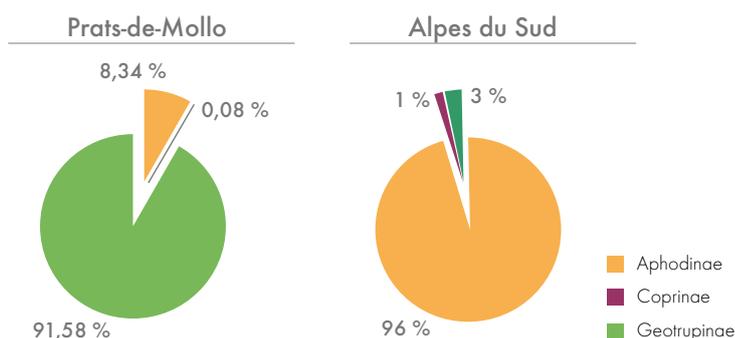
Le bousier *Anoplotrupes stercorosus*
Scarabaeidae Geotrupidae

très grande originalité de la structure de la communauté, très différente des structures observées dans les Alpes du Sud.

L'intérêt principal de la réserve réside donc notamment dans la spécificité de ses communautés de scarabéidés.

Figure 17

Importance relative des trois sous-familles dans les communautés de bousiers (en biomasse sèche)



4. La structure des écosystèmes et leur fonctionnement

Les taxons* bio-indicateurs permettent d'étudier les caractéristiques et le fonctionnement intrinsèque de l'écosystème, comme nous l'avons vu précédemment.

Dans une logique de connectivité, l'écosystème peut être considéré à l'échelle du paysage, en prenant en compte ses relations avec les écosystèmes voisins. Prenons l'exemple d'un ancien bras mort peu profond connecté à une rivière par un fossé humide, de façon intermittente. Des alevins pourront coloniser le bras mort et s'y développer à l'abri des gros poissons prédateurs. Si la connexion avec le cours d'eau se rétablit, ils pourront regagner le cours actif.

Dans d'autres cas, certains groupes d'espèces indiquent le stade de développement des successions écologiques, selon qu'il s'agit de pionnières

ou, au contraire, de spécialistes des stades âgés. En milieu aquatique, les hélophytes peuvent indiquer la plus ou moins grande stabilité des niveaux d'eau, de même que divers amphibiens et certains crustacés caractérisent les eaux temporaires.

5. La qualité et les potentialités du milieu

L'utilisation d'indices biotiques permet de mettre en relief des dysfonctionnements de l'écosystème, ou d'estimer la qualité de certains facteurs, notamment abiotiques, tels que la qualité de l'eau ou de l'air. Beaucoup de ces indices ont été développés et normalisés, d'abord pour l'étude des milieux aquatiques et maintenant pour toutes sortes d'habitats. Enfin, la capacité d'évolution et d'adaptation du site pourra être considérée, et notamment la réponse de l'écosystème à certains travaux ou autres perturbations envisagées.

BIBLIOGRAPHIE

BLANDIN P. - *Bio-indicateurs et diagnostic des systèmes écologiques*. - Bulletin d'écologie, 1986 - 17(4), p. 215-307.

CHARTIER-TOUZÉ N., GALVIN Y., LÉVÊQUE C., SOUCHON Y. - *État de santé des écosystèmes aquatiques. Les variables biologiques comme indicateurs*. - Cemagref Éditions, 1997.

COULMIER X. - *Les principales espèces forestières indicatrices de Champagne-Ardenne et de Bourgogne*. - Les-Loges-Margueron : CFPPA Croigny, 2004.

COULMIER X. - *Principales espèces forestières indicatrices de Champagne-Ardenne et de Bourgogne*. - Les-Loges-Margueron : CFPPA Croigny, 2007.

GENIN B., CHAUVIN C., MÉNARD F. - *Cours d'eau et indices biologiques. Pollutions-méthodes-IBGN*. - Dijon : ENESAD-CNERTA, 1997.

JAY-ROBERT P., PUISSANT S., VOISIN J.F., LUMARET J.P. - « *Inventaire des scarabéidés coprophages et des orthoptères de la réserve naturelle de Prats-de-Mollo (66) : identification des priorités de gestion*. » In *Inventaire et cartographie des invertébrés comme contribution à la gestion des milieux naturels français. Actes du séminaire tenu à Besançon les 8, 9 et 10 juillet 1999*. - Patrimoines naturels, 1999 - p. 99-105.

LEMOALLE J., BERGOT F., ROBERT M. - *État de santé des écosystèmes aquatiques. De nouveaux indicateurs biologiques*. - Cemagref Éditions, 2001.

LÉVÊQUE C. - « *État de santé des écosystèmes aquatiques ; l'intérêt des variables biologiques*. » In *État de santé des écosystèmes aquatiques - les variables biologiques comme indicateurs. Actes du séminaire national HydrOsystemes, Paris 2-3 nov. 1994* - Cemagref Éditions, 1994 - p. 13-24.

LEVREL H. - *Quels indicateurs pour la gestion de la biodiversité ?* - Institut Français de la Biodiversité, 2007

VILLEPOUX O., DARINOT F. - « *Les cladaïes : diversité des arthropodes et bio-indication*. » In *Inventaire et cartographie des invertébrés comme contribution à la gestion des milieux naturels français. Actes du séminaire tenu à Besançon les 8, 9 et 10 juillet 1999*. - Patrimoines naturels, 1999 - p. 303-307.

VOISIN J.F. - *Une méthode simple pour caractériser l'abondance des orthoptères en milieu ouvert*. - L'entomologiste, 1986 - 42, p. 113-119.





06

FICHE 6

Continuité écologique



J. Gourvil

CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

GÉNÉRALITÉS

Les plantes et les animaux se déplacent en utilisant de manière sélective des éléments du paysage : bois, prairies, mares. Par exemple, certains poissons peuvent passer d'un plan d'eau à un autre via un réseau de fossés. Dans une zone agricole, certaines plantes peuvent pousser le long des haies et ainsi coloniser de nouveaux milieux.

Les éléments du paysage constituent ainsi de véritables continuités écologiques, indispensables pour la survie des espèces et le renouvellement des écosystèmes. Spécifiques à chaque espèce, ces continuités sont formées de réservoirs de biodiversité reliés entre eux par des corridors continus (linéaires) ou discontinus (pas japonais) (fig. 18 et 19)

Figure 18

Fonctionnement des réseaux écologiques/continuités écologiques

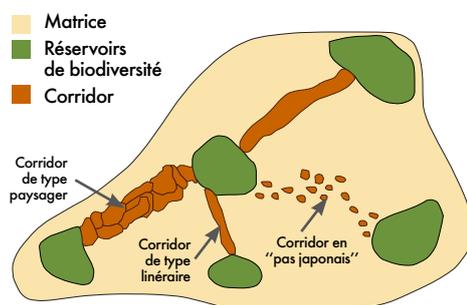


Figure 19

Bocage boulonnais



M. Debailleul

La modification du paysage peut affecter le déplacement des espèces dans la mesure où ces continuités sont touchées. Par exemple, le comblement des fossés empêchera les échanges des poissons entre les plans d'eau ; l'arrachage de haies isolera les différentes populations de plantes. C'est donc à l'échelle du paysage que doit

être évaluée la manière dont le site perturbe ou favorise le déplacement des espèces.

Les projets d'aménagement peuvent modifier les différents éléments du paysage et influencer de cette façon le fonctionnement des continuités écologiques.

MÉTHODES

La valeur écologique du site s'évalue ici à un niveau plus global, c'est-à-dire à l'échelle du paysage. L'étude du site, de son environnement et des continuités permet de mieux comprendre sa contribution au fonctionnement du réseau écologique. Il existe différentes méthodes permettant d'évaluer la connectivité d'un paysage ou l'effet d'un projet d'aménagement sur les continuités écologiques. Deux méthodes sont ici décrites, de la moins coûteuse/précise à la plus coûteuse/précise.

Méthode 1 - Évaluation de la connectivité potentielle

Cette méthode consiste à évaluer la manière dont le projet relie ou fragmente les réseaux écologiques à partir d'une analyse spatiale des milieux et des capacités de déplacement des espèces cibles.

Étape 1 - Définition des réseaux cibles /espèces cibles - collecte de données

L'utilisation d'espèces cibles ou de cortèges d'espèces permet d'affiner l'appréciation de la valeur du réseau écologique, suivant son utilisation qui est propre à chaque cortège (voir tableau 4). Avant tout, les réseaux cibles doivent être définis en fonction des enjeux environnementaux locaux. Il s'agit de mettre en lien les capacités de déplacement des espèces cibles avec l'occupation du sol sur le site et à ses abords, afin d'identifier les continuités et les barrières limitant le déplacement de ces espèces. Afin de déterminer les espèces cibles et leurs milieux associés, les données à collecter sont reprises au tableau 4.

Tableau 4 Définitions des réseaux cibles/espèces cibles

Objectifs	Données à collecter	Sources
Définition des espèces à enjeu (espèces patrimoniales...)	Inventaire des espèces et inventaire des milieux	Inventaires issus des zonages environnementaux (Natura 2000, ZNIEFF...), collectivités, associations naturalistes
Délimitation des réservoirs de biodiversité	Inventaire des espèces et inventaire des milieux	Zonages environnementaux (Natura 2000, ZNIEFF...)
Identification des continuités et des barrières	Capacités de déplacement des espèces cibles	Bibliographie, experts
	Occupation du sol	Conseils régionaux, établissements publics (PNR) Numérisation manuelle sur fond cartographique (IGN, Google Earth)

En l'absence d'enjeu particulier, il est conseillé d'identifier la présence des réseaux suivants :

- forestier - forêts, zones arborées ou buissonnantes, prairies et cultures proches des lisières ;
- agricole extensif - prairies, pâturages, bocages, cultures isolées ;
- prairial - prairies, pâturages, bocages, vergers ;

- réseau de zones humides - marais, prairies et cultures en zones alluviales ;
- aquatique - cours d'eau et divers types de plans d'eau du réseau hydrographique.

Étape 2 - Identification des barrières

Deux outils peuvent être utilisés pour identifier les réseaux écologiques et les barrières pour chaque espèce cible ou cortège d'espèces.

- **Outil 1** : photo-interprétation et dire d'expert. Connaissant les milieux favorables et défavorables pour le déplacement de l'espèce cible, on identifie à dire d'expert les zones préférentielles de déplacement (les réseaux écologiques) ainsi que les barrières.
- **Outil 2** : calcul du coût de déplacement. Il s'agit d'estimer le coût de déplacement d'un animal, suivant la distance à parcourir entre un compartiment 1 et un compartiment 2, et selon le coefficient de résistance du milieu. Ce coefficient est attribué à chaque milieu, suivant le type de continuum considéré. Par exemple, un lac aura un coefficient de résistance faible pour un continuum « zones humides », et un coefficient de résistance très fort pour un continuum « zones thermophiles ». Cette méthode est plus précise.

Méthode 2 - Évaluation de la connectivité réelle

La méthode précédente permet de définir a priori le fonctionnement des réseaux écologiques

et d'identifier les barrières supposées au déplacement des espèces considérées. Cette méthode évalue donc la connectivité potentielle du paysage.

Évaluer la connectivité réelle consiste à mesurer des déplacements réels d'espèces au niveau du paysage. Cette méthode est utile lorsqu'on cherche à évaluer la perméabilité d'un élément particulier du paysage tel qu'une carrière. Deux grandes familles d'outils sont employées à ce sujet.

- **Outil 1** : observation directe des mouvements. À l'aide de technique de capture-marquage-recapture ou de suivi des déplacements par télémétrie ou mise en place de pièges photographiques, il est possible de suivre en temps réel le déplacement des espèces à travers un paysage ou un élément du paysage. On en déduit ainsi la perméabilité du paysage pour l'espèce/le cortège d'espèce cible.
- **Outil 2** : comparaison des distances génétiques. En comparant les distances génétiques entre plusieurs populations d'une même espèce, il est possible d'évaluer le nombre de migrants entre chacune des populations et en déduire ainsi la perméabilité du paysage ou de l'élément considéré (fig. 20).

Figure 20

La présence d'un élément du paysage (disque grisé) séparant deux populations « a » et « b » d'une même espèce peut être - cas 1 : fragmentant si les deux populations n'échangent aucun individu ; cas 2 : perméable si les deux populations échangent des individus.

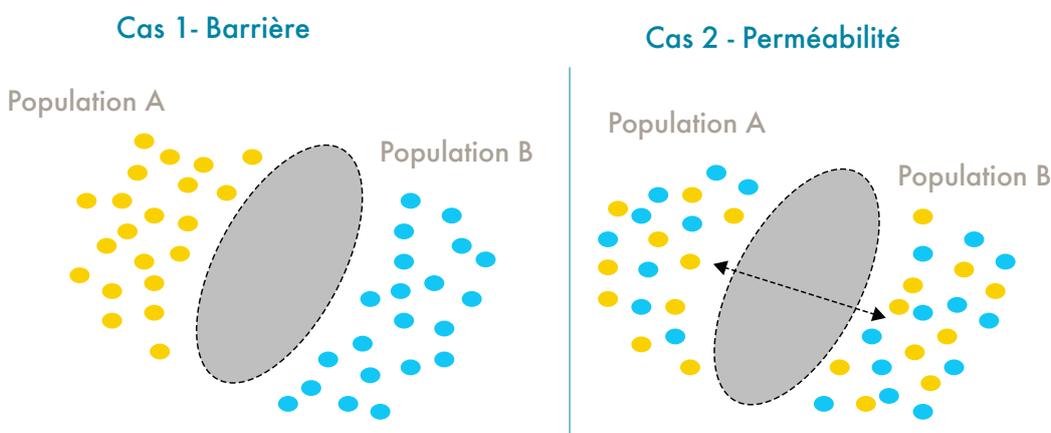


Tableau 5

Valeur bio-indicatrice de quelques groupes de faune dans l'analyse des éléments constituant un réseau écologique régional (d'après BERTHOUD, 2001)

Groupes bio-indicateurs :	Chevreaux sangliers	Musaraignes chamois, cerfs, tétrars	Mustélidés hérissons	Lièvres, perdrix	Reptiles xérophiles, orthoptères, lépidoptères	Reptiles mésohydrophiles, batraciens	Insectes et oiseaux aquatiques, odonates	Chiroptères, hirondelles
Continuums :								
Forêts de basse altitude (< 1000 m)	Très bonne	Bonne				Bonne		
Forêts + pâturages d'altitude (> 1000 m)		Très bonne						
Agricole extensif			Très bonne	Bonne				
Prairial extensif thermophile	Bonne		Bonne	Bonne	Bonne	Bonne		Très bonne
Prairial marécageux						Très bonne	Bonne	Bonne
Aquatiques (étangs et cours d'eau)							Très bonne	
Rocheux de basse altitude (< 1000 m)		Très bonne			Très bonne			
Structures paysagères :								
Lisières forestières, haies			Très bonne	Bonne	Bonne	Bonne		Bonne
Talus, coteaux ensoleillés			Bonne	Très bonne	Très bonne			Bonne
Vallons, coteaux ombragés	Bonne					Très bonne		
Cours d'eau							Très bonne	Très bonne
Végétation riveraine	Bonne					Bonne	Bonne	Bonne
Crêtes sommitales		Très bonne						
Espaces interforestiers	Très bonne							

Valeur bio-indicatrice du groupe :

Très bonne  Bonne  Faible à nulle 

BIBLIOGRAPHIE

BERTHOUD G. - Les corridors biologiques en Isère - Projet de réseau écologique départemental de l'Isère (REDI) - Conseil général de l'Isère, 2001.

CALABRESE J.M., FAGAN W.F. - A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. - Front. Ecol. Environ, 2004 - 2(10), p. 529-536.

ECONAT S.A. - Les corridors biologiques en Isère - Projet de réseau écologique départemental de l'Isère (REDI). 2001.

FLAVENOT T. - Évaluation de l'effet des carrières de granulats sur la connectivité du paysage. - Paris : Thèse de doctorat - Muséum national d'Histoire naturelle. 2014.

GIRAULT V. - Mise en œuvre de corridors écologiques et/ou biologiques sur le territoire des parcs naturels régionaux. - Éd. Parcs Naturels Régionaux de France, 2005.



07

FICHE 7

Flore et végétation



FLORE ET VÉGÉTATION

GÉNÉRALITÉS

La flore est un élément fondamental pour apprécier la qualité d'un milieu naturel. En effet, la prise en compte des espèces végétales permet de décrire les habitats naturels, de caractériser les conditions écologiques régnantes ou encore de déceler des espèces d'intérêt patrimonial.

Du fait de son caractère intégrateur, synthétisant les conditions de milieu et de fonctionnement de l'écosystème, la végétation est considérée comme un bon indicateur et permet donc de caractériser l'habitat.

La condition préalable à la description de la végétation et des habitats est la connaissance des espèces végétales présentes sur le site étudié. La première démarche est donc l'inventaire des espèces.

Leur reconnaissance n'est pas toujours évidente et l'utilisation de flores régionales est souvent nécessaire.

Pour certaines espèces « douteuses », la détermination devra être confirmée par des spécialistes (conservatoires botaniques nationaux, experts botanistes...).

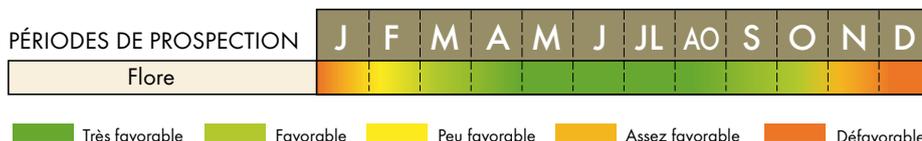
Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude de la flore vasculaire



Pelouse à orchidées

et des communautés végétales.

La période la plus propice à l'étude de la flore vasculaire et des communautés végétales est le printemps, lorsque les plantes sont en fleur. Des espèces printanières ne sont plus visibles à la saison estivale et inversement, d'où l'intérêt de répéter les inventaires deux ou trois fois dans l'année afin d'obtenir une liste floristique complète.



MÉTHODES

Selon le contexte et les objectifs fixés, plusieurs méthodes d'étude de la flore et de la végétation existent :

- méthodes de description de la végétation ;
- méthodes de description des communautés végétales.
- méthodes de description des habitats naturels.

A -1 Méthodes de description de la flore

a) Méthodes d'inventaires floristiques

Les inventaires floristiques permettent soit d'établir une liste des espèces végétales présentes sur un site, nommées obligatoirement par leur nom scientifique, et d'estimer ainsi la richesse spécifique*, soit de rechercher des espèces particulières (espèces patrimoniales, espèces protégées, espèces invasives...).

La réalisation d'inventaires floristiques et des habitats nécessite de savoir reconnaître les espèces. L'identification des plantes nécessite bien souvent l'utilisation de flores régionales, nationales ou étrangères. Les naturalistes qui seront amenés à réaliser de tels inventaires pourront se rapprocher des conservatoires botaniques nationaux qui pourront les conseiller dans le choix des flores à utiliser.

Les bryophytes, « mousses » au sens large, les charophytes, les lichens et les champignons doivent également être pris en compte dans les inventaires. Les prospections devront prioritairement être ciblées sur les espèces menacées et/ou réglementées avec toutes les précautions nécessaires liées à leurs statuts. Il sera dans bien des cas nécessaire de faire appel à des personnes expérimentées dans l'identification de ces taxons.

Plusieurs protocoles peuvent être mis en œuvre comme :

- Les prospections aléatoires

Le site est parcouru, et toutes les espèces rencontrées sont notées. L'absence de plan d'échantillonnage ne permet pas de prétendre à un inventaire complet ni représentatif des espèces présentes.

- Les prospections systématiques

L'inventaire de la flore peut se limiter à un milieu naturel particulier, par exemple une zone humide. L'objet de l'étude peut alors se réduire à la re-

cherche d'espèces susceptibles d'être présentes dans ces milieux, d'après leurs exigences écologiques, ou selon des données recueillies dans la bibliographie.

- La méthode des points contacts

En milieux herbacés, la richesse spécifique est souvent estimée à partir de la méthode des points contacts dont il existe plusieurs variantes comme celle décrite par DAGET *et al.* (1971).

Le long d'un itinéraire linéaire (transect) [fiche 2] de longueur définie, on répartit des points d'échantillonnage à intervalles réguliers. Les espèces présentes à la verticale de chacun de ces points sont notées. Ces points sont plus ou moins rapprochés selon la hauteur de la végétation, par exemple tous les 4 cm pour une végétation basse, tous les 10 cm pour une strate herbacée moyenne, tous les 25 cm pour une prairie de fauche au maximum de croissance.

C'est une méthode non destructrice, simple et peu onéreuse, reproductible. Cependant, environ 20 % des espèces risquent de ne pas être répertoriées (les moins fréquentes), alors qu'elles le seraient via l'approche phytosociologique.

- L'analyse de la banque de graines

Des prélèvements du sol sont effectués et les graines qu'ils renferment sont mises en culture pour permettre la germination. En effet, ces graines peuvent conserver pendant plusieurs années leurs capacités germinatives.

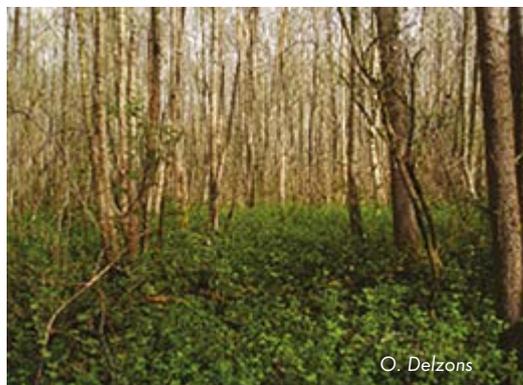
C'est une méthode lourde et coûteuse, et qui nécessite un savoir-faire particulier (propre aux conservatoires botaniques par exemple). Elle peut s'avérer intéressante dans des plans de restauration de milieux naturels, par exemple des opérations d'étrépage, où la couche superficielle du sol est enlevée, mettant à la lumière d'anciennes graines, ce qui permet dans certains cas la « réapparition » d'espèces patrimoniales et jusque là présumées disparues.

- Les relevés phytosociologiques

Les relevés phytosociologiques ont pour objectif principal d'identifier les associations végétales. Ils permettent également d'établir des listes d'espèces et d'inventorier les habitats naturels selon la nomenclature EUNIS* ou CORINE Biotopes* (voir description dans A - 2, p. 117).

- La méthode des quadrats ou des placettes :

Les relevés botaniques sont réalisés au sein de secteurs de forme (carrée, circulaire ou rectangulaire) variable mais clairement définie. Leur surface est fixée selon les besoins de l'étude et le type de milieu concerné, de façon à obtenir un échantillon représentatif des espèces présentes. Cette méthode est souvent utilisée pour le suivi de l'évolution de la végétation au cours du temps, notamment dans le cas de la mise en place de mesures de gestion ou de restauration. L'emplacement des quadrats ou des placettes peut être fixe ou variable, voire tiré aléatoirement. Ils sont toutefois toujours placés au sein d'un milieu homogène. Cette méthode est par ailleurs souvent couplée à une approche phytosociologique.



de ces espèces animales.

De plus, dans le cadre d'un suivi sur plusieurs années, la description de la structure de la végétation sert de cadre de comparaison pour étudier la dynamique de la végétation.

Les méthodes employées sont en particulier :

- les relevés phytosociologiques le long d'un transect. La structure de la végétation est notée le long d'itinéraires linéaires. L'exemple suivant est adapté de BLONDEL *et al.* (1977), d'après FIERs (2004) ;
- les relevés phytosociologiques dans un quadrat. Le taux de recouvrement de chaque strate est effectué au sein d'un carré de référence.

Sous-bois printanier. Pour profiter de la lumière, les plantes les plus basses se développent les premières, avant d'être couvertes par l'ombre des arbustes et des arbres. On distingue sur la photo une strate herbacée au feuillage épanoui, une strate arbustive dont les bourgeons s'ouvrent à peine, et une strate arborée encore totalement nue.

b) Méthodes décrivant la structure de la végétation

La structure de la végétation correspond à la manière dont les végétaux sont agencés les uns par rapport aux autres, verticalement (stratification) ou selon des plans parallèles à la surface du terrain (recouvrement).

La végétation peut être subdivisée en quatre strates principales : 1) plantes de plus de 7 m de haut, arbres essentiellement ; 2) de 1 à 7 m, soit les arbustes et les arbrisseaux ; 3) de moins de 1 m et 4) mousses, lichens*, champignons et très petites espèces herbacées.

La description de la structure de la végétation permet de caractériser des milieux naturels (par exemple différenciation des forêts, avec une strate arborescente au moins, et des fourrés, avec des espèces les plus grandes faisant partie de la strate arbustive).

Certaines espèces animales sont très sensibles à la structure de la végétation, comme les oiseaux [fiches 28 et 29], les orthoptères* [fiche 15] ou les araignées [fiche 10]. La stratification et les taux de recouvrement des espèces végétales peuvent permettre d'expliquer la présence ou l'absence

c) Méthodes quantitatives

Ces méthodes se basent sur la mesure de la biomasse (matière végétale sèche par unité de surface), par exemple pour estimer la valeur pastorale d'une prairie. Lourdes à mettre en place, elles sont donc rarement utilisées, mais peuvent par exemple servir de méthode de suivi de l'évolution d'une prairie reconstituée, ou de l'effet des mesures de gestion.

- Méthode de DE VRIES (végétation herbacée)

La méthode consiste à couper la végétation au ras du sol dans des quadrats disposés au sein de l'aire d'étude. Les échantillons collectés sont ensuite séchés puis pesés. La pesée des échantillons permet de connaître par extrapolation la biomasse de la parcelle, ainsi que la contribution pondérale de chaque espèce.

C'est une méthode longue et destructrice, mais qui permet d'obtenir des résultats fiables et objectifs, bien que difficilement transposables d'une parcelle à l'autre.

- Méthode DAGET & POISSONNET (végétation herbacée)

La méthode DAGET & POISSONNET s'appuie sur celle des points contacts décrite en A-1. Elle permet de calculer les contributions spécifiques (CS) de chaque espèce. Pour cela, on calcule tout d'abord la fréquence spécifique (FS), exprimée en pourcentage, qui correspond au nombre de points où l'espèce est présente sur le nombre de points échantillons. La contribution spécifique de présence (CSP) est le rapport de la fréquence spécifique à la somme des fréquences spécifiques de toutes les espèces recensées sur tous les points échantillonnés soit :

$$CSP_i = \frac{FS_i}{\sum FS_i} \times 100.$$

La contribution spécifique CS de chaque espèce donne l'importance des espèces les unes par rapport aux autres, et permet de contrôler l'évolution de la composition floristique d'un peuplement ne tenant pas compte du recouvrement.

A-2 Méthodes de description des associations végétales

Les habitats naturels au sens de CORINE Biotopes* sont caractérisés par des unités phytosociologiques (associations végétales) qui représentent la façon dont les espèces sont organisées.

Les associations végétales (= groupements végétaux) permettent de caractériser les habitats naturels au sens de la nomenclature CORINE



Pédiculaire des bois
Pedicularis sylvatica

Biotopes. La caractérisation des habitats est une étape quasi incontournable de toute étude portant sur le milieu naturel. Elle peut permettre :

- de décrire le milieu naturel ;
- de répertorier les habitats naturels, et en particulier les habitats d'intérêt patrimonial [annexe B] ;
- de servir d'état de référence pour un suivi ;
- de définir les habitats favorables aux espèces animales ;
- de déterminer la dynamique de la végétation.

a) Pré-zonage de la végétation

Elle permet d'établir une première délimitation des unités écologiques pour réaliser des relevés de végétation servant de base à l'identification des habitats. Elle peut se baser sur les cartes de l'IGN (détection des zones boisées, enfrichées, humides, ouvertes), sur des photographies aériennes d'altitude (ortho-photographies de l'IGN, photographies satellite, Inventaire forestier national) ou de basse altitude (photographies ULM), sur des cartes d'occupation des sols comme CORINE LAND COVER, ou sur des cartes de la végétation nationales ou régionales. Notons que le ministère en charge de la protection de la nature a lancé en 2011 un programme de cartographie des végétations en France (CarHAB*) pour disposer à l'horizon 2025 d'une cartographie des végétations naturelles et semi-naturelles du territoire métropolitain à l'échelle du 1:25 000.

Les principales unités écologiques peuvent aussi être délimitées directement sur le terrain, par exemple à partir d'un point haut, ou de manière plus précise en répertoriant les unités facilement différenciables, et en référençant leurs coordonnées géographiques par GPS*.

b) Approche phytosociologique

L'étude des associations végétales permet de caractériser finement et de localiser les habitats naturels.

La notion d'associations végétales repose sur l'idée que les espèces végétales ne se regroupent pas au hasard mais en fonction d'affinités en rapport avec les conditions du milieu.



Comaret des marais
Comarum palustre

A-3 Méthodes de description des habitats naturels

La phytosociologie est l'étude des communautés végétales du point de vue floristique, écologique, dynamique, chorologique et historique. C'est la science qui s'attache à décrire les relations spatio-temporelles entre les végétaux, ainsi que les relations entre ces plantes et leur milieu de vie (climat, sol).

Elle a fait apparaître que, pour certaines conditions du milieu, on peut reconnaître des unités de végétation appelées « associations végétales », avec des groupes d'espèces dites caractéristiques, différentielles ou compagnes.

En 1915, BRAUN-BLANQUET a ainsi défini une **association végétale** : « groupement végétal plus ou moins stable en équilibre avec le milieu ambiant, caractérisé par une composition floristique déterminée, dans laquelle certains éléments exclusifs ou à peu près, les espèces caractéristiques, révèlent par leur présence une écologie particulière et autonome ».

La description des communautés végétales passe souvent par l'étude de ces associations végétales, qui sont riches d'enseignement sur les conditions écologiques locales.

La reconnaissance des différents groupements végétaux en présence, à l'aide de relevés floristiques dans le cadre d'un échantillonnage, peut aussi être complétée par une recherche systématique sur l'ensemble du site d'espèces patrimoniales [annexe A] (espèces protégées, inscrites à la directive Habitats ou sur une liste rouge, etc.).

Certains groupes taxonomiques, bien que présentant un intérêt certain, tant sur le plan du fonctionnement de l'écosystème* que du point de vue patrimonial, sont rarement pris en compte. Ainsi, les algues, les lichens*, les champignons et, dans une moindre mesure, les bryophytes, du fait de la

complexité de leur détermination, nécessitent l'intervention d'un spécialiste.



O. Delzons

Prairies humides et tourbières

En France, on recense deux écoles de phytosociologie : la phytosociologie sigmatiste (ou méthode de BRAUN-BLANQUET) et la phytosociologie synsiale intégrée. Seule la première méthode sera présentée.

Présentation de la méthode de BRAUN-BLANQUET

Cette méthode de description de la végétation comprend deux étapes :

- une étape analytique sur le terrain qui consiste à réaliser des relevés de végétation ;
- une étape synthétique au bureau qui consiste à classer les relevés afin d'en identifier les associations végétales.

a) Étape analytique (phase de terrain)

Cette étape a pour but d'établir une liste complète des taxons présents dans un échantillonnage de surface suffisante. L'étape suivante d'interprétation et d'analyse repose sur la précision et la rigueur des relevés sur le terrain.

La première phase d'une étude phytosociologique consiste tout d'abord à définir des surfaces (aires) de relevés sur l'ensemble du territoire d'étude. Selon la physionomie de la végétation, il est possible de distinguer diverses formations végétales : forêt, haie, lande, pelouse, roselière...

Les relevés phytosociologiques peuvent être effectués dans des quadrats et selon des transects.

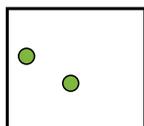
Pour chaque aire de relevé, la liste des espèces présentes est établie.

En plus de la liste des espèces présentes, un coefficient d'abondance-dominance est affecté à chacune d'elles. Il s'agit d'une échelle mixte, l'abondance correspondant au nombre d'individus par unité de surface, et la dominance au recouvrement total des individus de l'espèce considérée.

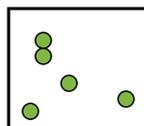
Un coefficient de sociabilité est ajouté au coefficient d'abondance-dominance. Il exprime l'aptitude d'une espèce à former des groupements plus ou moins denses (cf. fig. 21).

Figure 21

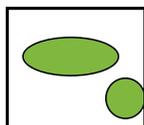
Échelle
d'abondance-dominance
(BRAUN-BLANQUET)



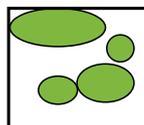
+ nombre d'individus et
recouvrement très faible
(1 à 2 pieds)



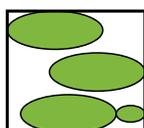
1 espèce peu ou assez
abondante mais à degré
de recouvrement faible



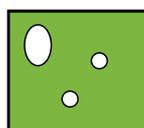
2 nombre d'individus
abondant couvrant 20 %
de la surface de relevé



3 nombre quelconque
d'individus couvrant entre
25 % et 50 % du relevé



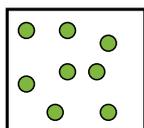
4 nombre quelconque
d'individus couvrant entre
50 % et 75 % du relevé



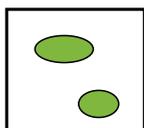
5 espèce numériquement
prédominante et occupant
plus de 75 % de la surface

Figure 22

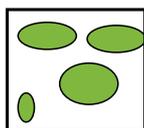
Échelle
de sociabilité
(BRAUN-BLANQUET)



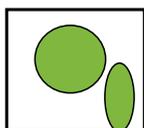
1 individus isolés



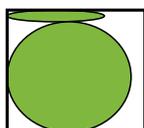
2 individus en touffe



3 individus en touffes ou
en coussinets



4 individus en colonies



5 individus en populations
presque pures

Échelle des coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet :

- 5** : recouvrement de l'espèce $> 3/4$ de la surface de référence ($> 75\%$)
- 4** : recouvrement de l'espèce entre $1/2$ et $3/4$ (50 à 75 % de la surface de référence)
- 3** : recouvrement de l'espèce entre $1/4$ et $1/2$ (25 à 50 % de la surface de référence)
- 2** : recouvrement de l'espèce entre $1/20$ et $1/4$ (5 à 25 % de la surface de référence)
- 1** : recouvrement de l'espèce $< 1/20$, ou individus dispersés à couvert jusqu'à $1/20$ (5 %)
- +** : peu d'individus, avec très faible recouvrement

Deux autres symboles sont parfois utilisés :

r : espèce rare

i : espèce représentée par un individu isolé

Au-delà de la définition des associations végétales, les **conditions écologiques**, présentes dans une association, peuvent être décrites de manière plus détaillée si cela permet d'affiner la compréhension de l'écosystème*. Par exemple, la détermination d'une zone hydromorphe dans un creux, au sein d'une prairie plus sèche, peut être perçue grâce à des communautés végétales différentes.

L'autoécologie* des espèces permet aussi d'améliorer le diagnostic écologique du milieu (espèces de milieu acide, de milieu humide...).

Sur chaque relevé, outre la liste d'espèces, plusieurs indications peuvent donc figurer : localisation précise (cartographique et GPS*), dates, surface du relevé, recouvrement de la végétation (100 % pour une végétation fermée, 50 % si la moitié du sol est visible), etc.

Les périodes de passage doivent être choisies pour augmenter le plus possible le niveau de détermination. La prospection se fait idéalement en période de végétation, entre mai et juillet, pour obtenir des résultats convenables (plus tôt en région méditerranéenne, et jusqu'en octobre dans certaines situations, par exemple les espèces de la zone de marnage des rivières et des lacs). Il paraît nécessaire d'effectuer un relevé par unité végétale (individu d'association).

Pour valider une unité syntaxonomique (association végétale), sept relevés floristiques sont un minimum.

Un inventaire systématique et exhaustif de toute la flore peut être effectué en parallèle de ces relevés. Toutes les espèces rencontrées seront notées. Ceci permet de mettre en évidence des espèces protégées ou à intérêt patrimonial qui n'auraient pas été prises lors de l'inventaire phytosociologique.

b) Étape synthétique (phase de bureau)

b. 1) Tri et classification des relevés phytosociologiques

Les relevés phytosociologiques obtenus sont comparés entre eux : les relevés qui se ressemblent le plus sont rapprochés les uns des autres pour constituer des catégories abstraites, les syntaxons.

Les relevés sont tout d'abord mis en forme en tableaux bruts (de type tableur par exemple).

L'analyse des relevés peut se faire :

- par analyse numérique (en particulier si le nombre de relevés est important), à l'aide d'une méthode d'ordination (analyse factorielle des correspondances, AFC) ou de classification (classification hiérarchique ascendante, CHA) ;
- par la méthode des tableaux, dite méthode manuelle, qui repose grandement sur la compétence et l'expérience de l'opérateur. Les espèces sont ordonnées dans un tableau, en fonction de leur degré de présence décroissant. On recherche alors les espèces différentielles, qui se retrouvent toujours ensemble dans un certain nombre de relevés, et qui sont généralement simultanément absentes des autres relevés. Les relevés qui renferment les mêmes espèces différentielles sont regroupés.

Ces deux approches, complémentaires, peuvent éventuellement être conduites de manière conjointe.

Elles aboutissent à la séparation de groupes de relevés, assimilables à des syntaxons. Un syntaxon est défini floristiquement par la présence d'espèces floristiques, espèces constantes (présentes dans tous les relevés) ou différentielles (dans certains relevés).

Un syntaxon ainsi défini peut correspondre à une association végétale ou, le plus souvent, à une subdivision d'une association végétale (sous-association par exemple, voir tableau 6).

Numéro des relevés	4	17	21	2	3	8	12	16
Syntaxons élémentaires	A	A	A	B	B	C	C	C
Taxon 1	1.1	1.1	1.1					
Taxon 2		+	+	1.2	+			
Taxon 3				2.2	1.2			
Taxon 4	+					1.1	1.2	+
Taxon 5						1.1	1.1	1.1
Taxon 6						1.2	+	1.2
Taxon 7					1.1	1.1	2.2	1.1
Taxon 8						1.1	+	2.1
Taxon 9	+					1.1	+	1.2
Taxon 10	+	+	+	1.2	+	+	1.1	+

Tableau 6

Exemple de tableau final d'une étude phytosociologique

Une attention particulière est portée aux facteurs jouant sur la végétation, et influençant donc les variations observées. Ces facteurs, en dehors des aspects liés à des problèmes méthodologiques, d'échantillonnage ou liés au hasard, qui sont limités par le choix et la bonne application du protocole, sont en particulier :

- les facteurs physicochimiques et biotiques (présence d'ombre, altitude, humidité du sol, etc.) ou synécologiques* (écologie de la communauté) ;
- les dynamiques de population (syndynamique ou dynamique de la communauté) ;
- les aspects historiques ;
- la synchorologie (répartition géographique de la communauté).

b. 2) Identification des associations végétales

Une association végétale est décrite en fonction :

- d'espèces caractéristiques, dont la fréquence est plus élevée que dans les associations voisines ; dans beaucoup de cas, on distingue souvent une combinaison d'espèces caractéristiques, c'est-à-dire un groupe d'espèces

présentes de manière répétitive, mais dont aucune n'est, à elle seule, caractéristique de l'association, plutôt qu'une seule espèce caractéristique ;

- d'espèces différentielles, permettant de distinguer des sous-associations ;
- d'espèces caractéristiques d'unités supérieures à l'association (classe par exemple) ;
- d'espèces compagnes ;
- d'espèces accidentelles.

Chaque association est nommée, selon le principe de la nomenclature phytosociologique.

Toute classification de la végétation répond à une hiérarchisation emboîtée des unités qui la composent.

Une association végétale est nommée à partir du nom d'une ou de deux espèces caractéristiques présentes, auxquelles on ajoute un suffixe (en gras ci-dessous) différent selon que l'on parle d'une classe, d'un ordre, d'une alliance ou d'une association végétale. Le système hiérarchique de classification, d'après BRAUN-BLANQUET, est organisé de la manière suivante :

Classe (**suffixe -etea**) : Querco-Fagetea (forêts feuillues des climats tempérés dominées par les Chênes et le Hêtre)

Ordre (**suffixe -etalia**) : Fagetalia (forêts feuillues des climats tempérés froids à hêtres, *Fagus sylvatica*)

Alliance (**suffixe -ion**) : Fagion (hêtraie et associations voisines montagnardes)

Association végétale (**suffixe -etum**) : Abieto-Fagetum (hêtraie à sapins de moyenne montagne)

Les sous-unités éventuelles portent des suffixes spécifiques :

- etosum pour la sous-association,
- enion pour la sous-alliance,
- enalia pour le sous-ordre,
- enetea pour la sous-classe.

On effectue la correspondance des associations végétales identifiées dans la zone d'étude avec la classification des habitats CORINE Biotopes* et/ou EUNIS Habitats* qui est devenue aujourd'hui

une nomenclature de référence à l'échelle européenne. La transposition en nomenclature Natura 2000 est ensuite recherchée afin de mettre en évidence les habitats d'intérêt communautaire.

3 - Limites

Cette approche permet d'inventorier la quasi-totalité des espèces présentes dans l'aire choisie, sous réserve qu'elles soient identifiables en période de floraison. Pour être déterminées avec précision, certaines espèces nécessitent l'observation des fleurs, des fruits, voire des parties souterraines, ces organes n'étant que rarement visibles au même moment. La répétition des passages permet d'observer différents stades des plantes et de recenser les espèces précoces ou tardives, ceci dans le but d'affiner la liste des espèces patrimoniales et de préciser la nature des groupements végétaux.

Le recours à un spécialiste peut être nécessaire pour la détermination précise d'espèces peu communes.

Une bonne image des caractéristiques stationnelles de la zone d'étude est ainsi obtenue pour chacun des groupements végétaux en présence. Cependant, le recours à d'autres méthodes est quasiment indispensable. Les informations restituées par les oiseaux, notamment, ouvrent l'interprétation sur des notions de structure du paysage, de fonctionnement, non plus à l'échelle stationnelle mais de l'écosystème dans sa totalité.

Tableau 7 Caractéristiques d'application d'un diagnostic phytosociologique

Méthode	Diagnostic phytosociologique
Domaines d'application	Tout territoire d'étude.
Limites	Nécessité d'inventorier le site dans sa totalité pour avoir une liste d'espèces plus complète.
Compétences requises	Une bonne connaissance technique botanique est indispensable (identification sur le terrain et détermination en laboratoire) avec des notions d'écologie végétale et de phytosociologie, avec des connaissances spécifiques si les relevés incluent mousses, algues et champignons.
Coûts	Ils sont variables selon l'accessibilité du territoire d'étude, la richesse des milieux qu'il recèle, les espèces en cause, la précision souhaitée. Sur le terrain, 10 à 15 relevés phytosociologiques sont effectués en moyenne par jour. Le temps de traitement des données, de transcription et les déterminations en bureau ou laboratoire doublent le temps de travail. Certains milieux nécessitent plusieurs relevés ou plusieurs visites en cours d'année. Prévoir en outre les temps d'interprétation (bilan, diagnostic), à savoir environ une journée pour 25 relevés et de mise en forme des résultats (une demi-journée pour 25 relevés).

Suivis extensifs d'espèces ou de communautés végétales

L'approche phytosociologique nécessite un effort d'échantillonnage important, suivi d'une phase d'analyse et d'interprétation longue et complexe. Selon les objectifs visés, d'autres approches sont aussi utilisées.

C'est notamment le cas pour des suivis de flore, qui correspondent à l'étude de **l'évolution dans**

l'espace et dans le temps de certains taxons.

On peut chercher à caractériser les variations temporelles des populations, la dynamique et la régulation de ces populations ou les interactions société/plantes. Un suivi peut, par exemple, être mis en place pour s'assurer du maintien d'une espèce très rare et fragile, pour surveiller l'extension d'une espèce invasive, ou encore pour évaluer les effets de mesures de gestion (pâturage).



Tableau 8

Exemples de protocoles de suivis d'espèces ou de communautés végétales (d'après BERNOUX & QUAGHEBEUR, 2003)

Caractéristiques de l'espèce suivie					Méthodes
Type biologique	Démographie	Comportement	Habitat	Dispersion et reproduction	
Cryptophytes	Densité forte	Plante invasive	Friche	Reproduction végétative à dispersion faible, reproduction sexuée anémochore à dispersion forte	Marquage de 20 plantes distantes de + de 50 cm, et mesure de leur hauteur et statuts phénologiques. 4 quadrats de 2 x 2 m placés aléatoirement dans des parcelles pour estimer les densités de la plante. Étude des rhizomes (orientation, âge, en croissance, etc.). Suivi une fois par mois au moins.
Hémicryptophytes (cas 1)	Densité moyenne, répartition homogène	Espèce commune	Milieu ouvert* (prairie mixte) avec broutage périodique	Forte production de graines	2 parcelles de 50 x 50 m par site soumis à un régime de broutage différent (hivernal, estival, permanent, aucun). Estimation de la hauteur moyenne de la couverture végétale. Mesure du nombre total de rosettes, de leur diamètre, du nombre de plantes fleuries. Suivi annuel.
Hémicryptophytes (cas 2)	Densité très faible, répartition fractionnée	Espèce en voie de disparition	Sols minces et rocheux	Faible dispersion de graines	Transects permanents. Cartographie et comptage de tous les individus le long du transect, mesure de la longueur de la plante, des stades de floraison. Un suivi par an, à la fin de la période de floraison.
Phanérophytes (arbres)	Densité moyenne, répartition homogène	Espèce abondante	Milieu ouvert aride	Dispersion forte	4 parcelles de 2000 m ² , recensement et marquage de tous les individus, mesure de la hauteur du tronc. Suivi annuel.

BIBLIOGRAPHIE

- BARDAT J. *et al.* - *Prodrome des végétations de France*. - Publ. Sc. Museum, 2004 - 61 - Patrimoines naturels.
- BENSETTITI F. *et al.* - *Cahiers d'habitats Natura 2000 - Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire*. - Paris : La Documentation française, 2001-2005.
- BERNOUX M., QUAGHEBEUR H. - *Suivis extensifs de populations de plantes. Méthodes décrites dans la littérature scientifique*. Institut National Agronomique Paris-Grignon, 2003.
- BOURNÉRIAS M., ARNAL G., BOCK C. - *Guide des groupements végétaux de la région parisienne*. - Paris : Belin, 2001.
- BOUZILLE J.B. - *Gestion des habitats naturels et biodiversité. Concepts, méthodes et démarches*. - Paris : Lavoisier Éditions Tec et Doc, 2007.
- DAGET P., POISSONET J. - *Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critères d'application*. - Annales d'agronomie, 1971 - 22(1), p. 5-41.
- FIERS V. - *Guide pratique - Principales méthodes d'inventaire et de suivi de la biodiversité*. - RNF, 2004.
- FOUCAULT DE B. - *Petit manuel d'initiation à la phytosociologie sigmatiste*. - Amiens : Soc. Linn. Nord France, 1986.
- GÉHU J.M. - *Dictionnaire de sociologie et synécologie végétales*. - Stuttgart : J. Cramer, Berlin, 2006.
- GÉHU J.M., RIVAS-MARTINEZ S. - *Notions fondamentales de phytosociologie*. - Ber. Int. Symp., 1981, p. 5-33.
- GORENFLOT R., FOUCAULT DE B. - *Biologie végétale. Les Cormophytes*. - Paris : Dunod, 2005.
- LACOSTE A., SALANON R. - *Éléments de biogéographie*. - Paris : Masson, 1969.
- LAHONDÈRE C. - *Initiation à la phytosociologie sigmatiste*. - Bull. Soc. Bot. Centre-Ouest, 1997 - 16.
- RAMEAU J.C., MANSION D., DUME G. - *Flore forestière française. Plaines et collines*. - Institut pour le développement forestier, 1989.
- ROYER J.M. - *Petit précis de phytosociologie sigmatiste*. - Bull. Soc. Bot. Centre-Ouest, 2009 - 33.
- TISON J.-M., FOUCAULT B. - *Flora Gallica - Flore de France*. - Société botanique de France & Biotope Éditions. 2014.



08

FICHE 8

Communautés végétales et habitats



© Stocklib / P. Aniszewski

COMMUNAUTÉS VÉGÉTALES ET HABITATS

GÉNÉRALITÉS

Un habitat naturel est une unité homogène, bien identifiable, essentiellement caractérisée par sa végétation, son climat, son exposition, son altitude, sa géologie, son sous-sol, sa pédologie, et par les activités humaines qui y ont lieu (GÉHU, 2006).

En France métropolitaine, les principaux référentiels utilisés lors de l'étude des habitats terrestres sont : la classification phytosociologique, la typologie CORINE Biotopes*, la classification EUNIS*, la nomenclature Natura 2000 et les Cahiers d'habitats. Afin de pouvoir convertir les données recueillies sur le terrain d'un de ces référentiels à l'autre, un important travail de mise en correspondance entre référentiels a été lancé. Les tables de correspondance sont mises à disposition au fur et à mesure de leur constitution.

La classification des habitats EUNIS est considérée comme une typologie de référence au niveau européen. Elle a été développée afin de faciliter l'harmonisation des descriptions et des collectes de données à travers l'Europe grâce à l'utilisation de critères d'identification. Il s'agit d'un système de classification paneuropéen exhaustif, prenant en compte tous les types d'habitats : de l'habitat naturel à l'habitat artificiel, de l'habitat terrestre aux habitats d'eau douce et marins.

MÉTHODES

1 - Détermination des habitats naturels par la phytosociologie

Tout en tenant compte de l'ensemble des facteurs environnementaux, la détermination des habitats naturels s'appuie essentiellement sur la végétation, qui constitue souvent le meilleur intégrateur des conditions écologiques d'un milieu. Aussi, à chaque fois que, dans un ter-

ritoire donné, les mêmes conditions environnementales sont réunies, le même ensemble de plantes ou « communauté végétale » est généralement retrouvé.

La phytosociologie est la science qui étudie les relations entre les plantes et, de ce fait, les communautés végétales. Elle les décrit et les classe de façon hiérarchisée, dans une typologie emboîtée. Les niveaux supérieurs (classes, ordres



Mégaphorbiaie d'altitude

et alliances) représentent de grands types de végétation, présentant des caractéristiques uniformes sur un territoire donné (par ex. : les *Filipendulo ulmariae-Convulvuletea sepium*, classe correspondant aux végétations des mégaphorbiaies* des plaines à l'étage montagnard, des secteurs plus ou moins inondables à humides).

Les niveaux inférieurs (associations et sous-associations) déclinent des particularismes locaux (par exemple, parmi les forêts tempérées caducifoliées on distingue : les hêtraies-chênaies collinéennes acidiphiles hyperatlantiques à if et à houx).

En 2004, la France s'est doté d'une classification phytosociologique de référence : le Prodomes des végétations de France. Il s'agit d'un document scientifique, servant de base à toute étude phytosociologique. Le Prodomes des végétations de France (PVF 1) publié en 2004 (BARDAT *et al.*) est actuellement considéré comme le référentiel national pour la classification phytosociologique sigmatiste. Ce référentiel aborde tous les types de végétations phanérogamiques* de France métropolitaine (y compris marines), ainsi que les végétations de charophytes, et les présente sous la forme d'un synsystème*, du niveau de la classe à celui de la sous-alliance. Au niveau de l'association (unité de base de la classification), différentes synthèses existent, notamment à des échelles régionales, mais il n'existe pas pour l'instant de référentiel national.

Sur un site d'étude, la première étape consiste à délimiter des zones de végétation homogène. Chacune de ces zones fait l'objet :

- d'un relevé floristique, listant les espèces rencontrées ;
- d'un relevé phytosociologique, qui décrit l'abondance-dominance de chacune des espèces, les relations entre les espèces végétales ainsi que la dynamique de la végétation. C'est donc une méthode plus complexe, plus difficile à appliquer, et réclamant une certaine expérience de la démarche.

À partir de ces relevés floristiques ou phytosociologiques, des listes d'espèces, de l'observation directe de certaines plantes ou groupements végétaux, les différents habitats du site d'étude sont décrits, en général grâce à l'utilisation de l'une des typologies reconnues.

L'ensemble de la méthode est détaillé de façon plus approfondie dans la fiche 1.

Hêtraie à luzules



Luzule blanche
Luzula Luzuloides



2 - Autres typologies

Parallèlement à l'approche décrite ci-dessus, on utilise aussi la typologie CORINE Biotopes, qui s'appuie en partie sur la phytosociologie. C'est une typologie européenne qui décrit les habitats de l'Europe.

À chaque habitat naturel décrit dans CORINE Biotopes correspond un code préétabli permettant de lui assigner un numéro.

Code CORINE Biotopes - exemple à travers la codification des habitats forestiers

Le chiffre « 4 » se rapporte à une forêt

41 se rapporte à une forêt de feuillus

42 se rapporte à une forêt de résineux

42.1 : forêt de sapins

42.11 : forêt de sapins sur sol neutre

42.12 : forêt de sapins sur sol calcaire

42.13 : forêt de sapins sur sol acide

42.1331 : sapinière à rhododendrons pyrénéenne

42.1332 : sapinière à rhododendrons des Alpes

42.2 : forêt d'épicéas

42.3 : forêt de mélèzes et d'arolles

42.4 : forêt de pins de montagne

43 se rapporte à une forêt mixte

44 se rapporte aux forêts très humides ou de bord de cours d'eau

45 se rapporte aux forêts sempervirentes non résineuses (feuillages toujours verts comme l'olivier, le chêne-liège ou le houx)

Sept grands types d'habitat sont décrits dans CORINE Biotopes

- Habitats littoraux et halophiles



- Milieux aquatiques non marins



- Landes, fruticées et prairies*



- Forêts



- Tourbières et marais



- Rochers continentaux, éboulis et sables



- Terres agricoles et paysages artificiels



Crédits photos :
O. Delzons

Lors d'un prédiagnostic, si la nomenclature CORINE Biotopes est choisie, les habitats références peuvent être décrits avec un niveau de précision d'ordre trois, c'est-à-dire par exemple 42.8 Forêt de pins méditerranéenne. Le niveau de précision sera d'autant plus élevé qu'une étude est approfondie.

Dans le contexte particulier de Natura 2000*, on s'attachera à prendre en compte les habitats d'intérêt communautaire.

Un habitat naturel d'intérêt communautaire se définit comme « un habitat naturel, terrestre ou aquatique, en danger ou ayant une aire de répartition réduite ou constituant un exemple remarquable de caractéristiques propres à une ou plusieurs des neuf régions biogéographiques et pour lequel doit être désignée une Zone spéciale de Conservation ».

La typologie de référence actuelle au niveau de l'Europe est EUNIS Habitats qui est une évolution

de CORINE Biotopes, avec une restructuration des grands types de végétation, l'ajout de nouveaux codes et l'approfondissement important pour les habitats marins.

Le Service du Patrimoine naturel du MNHN a réalisé un travail de recueil de ces typologies ainsi que leur mise en correspondance sous forme de bases de données. Elles sont téléchargeables sur le site de l'Inventaire national du Patrimoine naturel.

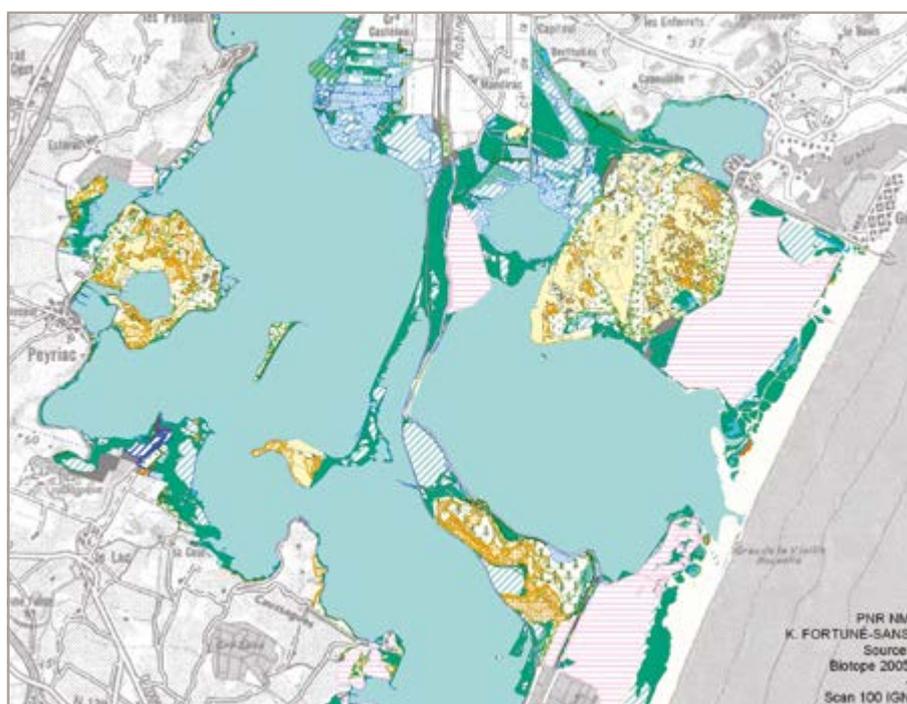
Résultats attendus

La caractérisation des habitats d'un site est l'assise indispensable de la plupart des études portant sur les milieux naturels. Elle peut être transmise sous forme d'une simple liste, à laquelle peuvent s'ajouter des valeurs de superficie respective (en % du territoire par exemple). Une carte des habitats permet de visualiser de manière claire les résultats obtenus. La carte ci-après présente les habitats naturels, dont les habitats d'intérêt communautaire.

Résultats attendus et limites

Figure 23

Exemple de cartographie d'habitats naturels
(d'après le DOCOB* des étangs narbonnais - DIREN
Languedoc-Roussillon)



HABITATS NATURELS D'INTÉRÊT COMMUNAUTAIRE	
	* Logunes
	* Parcours substeppiques
	* Steppes salées
	* Steppes salées X Fourrés halophiles
	Laisses de mer
	Salicornes annuelles
	Prés salés méditerranéens
	Prés salés X Fourrés halophiles
	Fourrés halophiles
	Dunes mobiles embryonnaires
	Dunes mobiles
	Dunes fixées
	Dunes fixées + Prés salés
	Pentes rocheuses calcaires
	Fourrés à Tamaris
HABITATS NATURELS D'INTÉRÊT NON COMMUNAUTAIRE	
	Eaux saumâtres
	Eaux douces eutrophes
	Végétation aquatique
	Prés salés
	Roselières X Prés salés
	Roselières
	Rizières
	Frênaie à Tamaris et Carne de Provence
	Peuplements de Carne de Provence
	Salines
	Plages
	Sols nus
	Prairies calcaires
	Forêts décidus subméditerranéens franco-céaniques
	Garrigues
	Forêts de Pin d'Alep
	Alignements d'arbres, haies et petits bois
	Plantations de conifères
	Vergers ou oliveraies
	Vignobles
	Cultures
	Friches
	Zones urbaines ou industrielles
	Zones brûlées

Limites

La caractérisation des habitats naturels demande une connaissance approfondie de la flore et des groupements végétaux. Les spécificités régionales et locales augmentent encore la complexité de l'interprétation des données relevées sur le terrain. Une documentation très spécialisée, qui n'est pas toujours facilement accessible, est nécessaire. De plus, la précision et la quantité des études de référence est très disparate selon les régions.

La typologie CORINE Biotopes est d'un accès plus facile, mais présente l'inconvénient d'être parfois incomplète et hétérogène. Certains types de végétation peuvent être peu détaillés, voire absents, alors que d'autres sont décrits avec beaucoup de

précision. De plus, certains groupements végétaux peuvent être sujets à des interprétations divergentes. Par exemple, un type d'habitat peut être rangé sous deux codes CORINE Biotopes, comme les groupements à tamarin d'Allemagne qui peuvent être classés sous :

44.111 Saussaies à *Myricaria*
ou sous 24.223 Broussailles de saules et de myricaire germanique.

Il reste cependant indispensable d'utiliser ces typologies de référence, de manière à minimiser les erreurs d'interprétation et à faciliter les comparaisons d'un site à un autre, ou d'un observateur à un autre.

Caractéristiques d'application

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour les habitats naturels.

PÉRIODES DE PROSPECTION	J	F	M	A	M	J	JL	AO	S	O	N	D
Habitats naturels												

Très favorable
 Favorable
 Peu favorable
 Assez favorable
 Défavorable

Tableau 9

Caractéristiques d'application de l'étude des habitats naturels

Méthode	Habitats naturels
Domaines d'application	Tout territoire d'étude. C'est généralement le préalable indispensable à toutes études portant sur la faune ou la flore.
Limites	Le degré de précision de l'analyse dépendra du niveau référentiel d'habitats utilisé. Les degrés les plus fins des typologies phytosociologiques manquent souvent d'un référentiel précis. La bibliographie régionale est très disparate.
Compétences requises	Ces études seront utilisées par des ingénieurs écologues et des techniciens ayant une expérience pratique et des compétences en botanique et analyse des habitats.
Coûts	Ils dépendent de la superficie du territoire d'étude. Pour un site de quelques dizaines d'hectares, un jour-technicien (expertise de terrain) et un jour-ingénieur (diagnostic, analyse)

BIBLIOGRAPHIE

Les référentiels Habitats sont disponibles en téléchargement sur l'INPN à l'adresse suivante : <http://inpn.mnhn.fr/telechargement/referentiels/habitats/index>

Référentiels concernés :

- Prodrome des végétations de France
- Synopsis bryosociologique pour la France
- CORINE Biotopes
- Classification des habitats du paléarctique
- EUNIS Habitats
- Natura 2000
- Cahiers d'habitats

GÉHU J.M., 2006. Dictionnaire de sociologie et synécologie végétales. J. Cramer.

Documents disponibles sur Internet :

- la nomenclature complète CORINE Biotopes :
<http://www.espaces-naturels.fr/Natura-2000/References-bibliographiques/Habitats-naturels/CORINE-Biotopes>
- EUR 28 :
http://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/habitatsdirective/index_en.htm#interpretation
- EUNIS :
<http://eunis.eea.europa.eu/habitats.jsp>

Les outils concernant la faune

Vertébrés

- 23** - Inventaire qualitatif des poissons
- 24** - Quantification des poissons
- 25** - Inventaire qualitatif des amphibiens
- 26** - Quantification des amphibiens
- 27** - Reptiles
- 28** - Inventaire qualitatif des oiseaux
- 29** - Quantification des oiseaux
- 30** - Grands mammifères
- 31** - Chiroptères
- 32** - Micromammifères

Invertébrés (hors insectes)

- Mollusques - **9**
- Araignées - **10**
- Écrevisses - **11**
- Macroinvertébrés aquatiques - **12**

Invertébrés/Insectes

- Insectes/Généralités - **13**
- Odonates - **14**
- Orthoptères (criquets, sauterelles) - **15**
- Coléoptères carabidés - **16**
- Coléoptères saproxyliques - **17**
- Hyménoptères (abeilles et bourdons) - **18**
- Fourmis rouges - **19**
- Syrphes - **20**
- Rhopalocères (papillons de jour) - **21**
- Hétérocères (papillons de nuit) - **22**



09

FICHE 9

Les mollusques

INVERTÉBRÉS (HORS INSECTES)



© Stocklib / A. Orbánhegyi

LES MOLLUSQUES

Les mollusques, et en particulier les mollusques terrestres, sont relativement délaissés lors de diagnostics écologiques, par rapport à d'autres groupes. Ils offrent pourtant souvent de précieuses indications, notamment en raison de leurs exigences écologiques et de leur statut juridique. En effet, sur les 635 espèces présentes en France (espèces marines exclues), 3 sont considérées comme en danger, 47 rares et 9 vulnérables. 60 espèces sont protégées sur le plan national, totalement ou partiellement (INPN, 2009).

La coquille, une des particularités biologiques des mollusques, offre une information précieuse en termes de diagnostic écologique : la présence de coquilles vides traduit l'existence d'une espèce sur un site, sur une plage d'espace et de temps plus large que la durée du prélèvement. Par exemple, les coquilles d'un bivalve* dans les laisses de crues prouvent l'existence, au moins passée, de l'espèce dans le cours d'eau considéré, au moins à l'amont du site de prélèvement.

Nous distinguerons les mollusques aquatiques, qui sont pris en compte par plusieurs indices standardisés, et pour la valeur patrimoniale de certaines espèces, et les mollusques terrestres, utilisés de façon plus marginale, bien que présentant un intérêt certain.

MOLLUSQUES AQUATIQUES

GÉNÉRALITÉS

Certains gastéropodes* aquatiques (limnées, planorbes...) ainsi que certains bivalves sont utilisés pour décrire **la qualité de l'eau et des habitats par plusieurs indices**, seuls (IMOL [fiche 37]), parmi d'autres groupes d'invertébrés (IBGN [fiche 33]), ou, pour l'IBEM [fiche 36], en parallèle avec la flore, les coléoptères* les odonates, et les amphibiens. Certaines espèces

sont de plus étudiées par rapport à leur statut de protection.

Les mollusques aquatiques colonisent tous les milieux, eaux souterraines, sources, sous-écoulement des rivières, cours d'eau, mares, lacs et étangs, marais, avec souvent des exigences précises en terme d'habitat (courant, température, charge en matière organique, etc.).

MÉTHODES

En dehors des protocoles standardisés utilisés pour l'échantillonnage lors du calcul d'un indice, il n'existe pas, d'après CUCHERAT & DEMUYNCK (2008), de méthode spécifique pour échantillonner les mollusques dulçaquicoles* non souterrains. La pêche au troubleau ou à l'épuisette est la méthode la plus usitée, parfois limitée à une surface délimitée (carrée ou cylindrique). Les grandes profondeurs dans les lacs ou les fleuves rendent systématique le recours à des dragues ou à des bennes (voir IMOL [fiche 37]). Enfin, la plongée en bouteille est rarement utilisée pour l'étude des gastéropodes*, mais davantage pour celle des bivalves.

Les espèces vivant dans le sous-écoulement des cours d'eau peuvent être échantillonnées par le biais d'une pompe à substrat.

En milieu d'eau stagnante, il est également possible d'utiliser des systèmes de piégeage faisant intervenir des substrats artificiels (LAPRUN 2008). Cette technique relativement peu utilisée permet cependant d'inventorier une part importante de la faune benthique dont font partie les mollusques. Certaines méthodes permettant l'étude des mollusques aquatiques sont également abordées dans la fiche concernant les macroinvertébrés aquatiques [fiche 12].

BIVALVES D'EAU DOUCE

GÉNÉRALITÉS

36 espèces de bivalves (comprenant les moules d'eau douce) sont présentes en France.

Parmi celles-ci, 5 sont introduites, dont 4 avec des tendances invasives (*Sinanodonta woodiana*, *Corbicula fluminalis*, *Corbicula fluminea* et *Dreissena polymorpha*), d'autres ont des traits écologiques indicateurs de qualité des milieux.

Plusieurs espèces de mollusques bivalves, aussi appelés nayades, de grande valeur patrimoniale, sont aussi à rechercher.

Il s'agit notamment de la mulette perlière (*Margaritifera margaritifera*), de la famille des margaritiféridés, et de la mulette épaisse (*Unio crassus*), de la famille des Unionidés. Ces deux espèces figurent à l'annexe II et V de la directive Habitats-Faune-Flore et à l'annexe III de la convention de Berne ainsi qu'en protection nationale pour *Margaritifera margaritifera*.

D'autres espèces, comme la rarissime grande mulette (*Pseudunio auricularius*), actuellement connue vivant dans seulement cinq cours d'eau (PRIÉ et al., 2008) en Europe, sont aussi à rechercher.

Ces bivalves se nourrissent en filtrant la matière organique de la colonne d'eau. En l'état actuel des connaissances, il est généralement convenu que la mulette perlière se plaît dans les têtes de bassin des cours d'eau très peu pollués sur socle cristallin, à fond sableux ou graveleux, avec un peu de courant. *Unio crassus* préférerait les eaux chargées en calcaire, plus en aval, mais avec des caractéristiques de substrat et de courant assez similaires.

Des études récentes semblent infirmer ces considérations (CUCHERAT).



B. Frochot

Corbicule asiatique *Corbicula fluminea*, bivalve envahissant, depuis peu largement présent en Europe.

Les particularités de leur reproduction sont une des causes de leur brutale raréfaction : la larve glochidie, après avoir été incubée 4 semaines dans la femelle, est expulsée dans la colonne d'eau et doit impérativement se fixer sur la branchie d'un poisson, où elle vivra en parasite durant plusieurs mois. Après cette phase de parasitisme, qui correspond aussi à une période primordiale de dispersion de l'espèce, le reste du temps très peu mobile, la larve se métamorphose en une petite « moule », enfouie dans le substrat.

Les larves de moules perlières se fixent uniquement sur les salmonidés (truite, saumon) alors que *Unio crassus* se fixe sur davantage d'espèces (épinouche et épinouche, perche, cyprinidés). Le mauvais

état des populations piscicoles et la segmentation des cours d'eau viennent freiner grandement cette phase de dispersion.

L'esturgeon et la blennie fluviatile sont des hôtes spécifiques de la grande moule lors de son stade glochidie, ce qui complique encore sa conservation : ces poissons ne sont plus présents ou sont devenus très rares dans les quelques cours d'eau où vit la grande moule !

De plus, ces mollusques sont aussi très sensibles aux pollutions, à l'eutrophisation et au colmatage, lié aux barrages, à l'érosion des sols, ou aux curages.

MÉTHODES

Les coquilles de ces bivalves sont à rechercher en inspectant simplement le bord des cours d'eau. Les terriers de rats musqués, et les « massacres » de loutres, deux espèces prédatrices de moules, peuvent aussi renseigner l'observateur sur les espèces présentes.

Cependant, un échantillonnage plus complet sera indispensable si l'on veut être certain de la présence de ces mollusques. Le régime hydraulique et les caractéristiques des berges de la rivière peuvent empêcher le dépôt des coquilles vides sur les berges, alors même qu'elles jonchent le fond du cours d'eau, dans le cas d'une rivière à cours lent, aux berges hautes et abruptes, par exemple. Le recours à des inspections en plongée en bouteille est dans ce cas plus efficace. Pour estimer les densités de population, des transects perpendiculaires au courant peuvent être réalisés,

en inspectant une zone comprise dans l'envergure des bras du plongeur (PRIÉ *et al.*, 2008).

PRIÉ *et al.* (2007) décrivent d'autres méthodes d'échantillonnage comme un aquascope, qui peut servir à détecter les moules sur le fond du cours d'eau quand la turbidité le permet.

Des dragages peuvent être faits à l'aide d'une pelle de dragage (volume ouvert sur 25 x 15 cm, fixée à un manche pourvu de rallonges permettant d'atteindre le lit de la rivière jusqu'à 5 m de profondeur) ou d'une tellinière. C'est un outil traditionnel languedocien qui permet de récolter des coquillages enfouis dans le sable à faible profondeur, composé d'un cadre en fer (25 x 13 cm) armé de dents auquel est fixé un filet de mailles fines (0,5 cm).

Tableau 10

Caractéristiques d'application des techniques de prospection qualitative des mollusques aquatiques

Méthodes	Inventaire des bivalves d'eau douce	
	Inspection des berges	Autres méthodes (plongée, dragages...)
Domaines d'application	Berges des cours d'eau	Milieus aquatiques
Limites	Aléatoire	Contraintes techniques
Compétences requises	+	+++
Coûts	+	+++

MOLLUSQUES TERRESTRES

GÉNÉRALITÉS

Ils sont assez rarement utilisés comme marqueurs du milieu. Ils peuvent être utilisés conjointement avec d'autres groupes, comme dans le cas de caractérisation de sites de carrière (DURAND, 2006).

D'après MAGNIN *et al.* (1995), plusieurs de leurs caractéristiques biologiques en font de bons indicateurs de l'histoire récente et de la structure actuelle du paysage. En effet, leur dispersion active est limitée, et leur vie souvent restreinte au niveau du sol. Leur répartition à l'échelle du paysage est très liée à la structure de la végétation et au recouvrement du sol (par de la litière, des pierres ou de la végétation) qui influent sur les ressources trophiques disponibles, les abris et le climat local. La présence d'une liste de référence nationale continuellement mise à jour dans le référentiel taxonomique de l'INPN (FALKNER *et al.*, 2002) est un autre argument pesant en faveur de leur utilisation. Enfin, une proportion notable d'espèces présente une forte valeur patrimoniale et bénéficie d'une protection légale (protection nationale notamment).

MÉTHODES

Les méthodes utilisées sont :

- **Les quadrats**

Tous les individus de toutes les espèces sont ramassés au sein d'une surface délimitée, généralement quadrangulaire et de 0,25 m² (de quelques cm² à plusieurs dizaines de m²). La litière peut être prélevée et triée sur un tamis, ou par flottaison des coquilles en immergeant la litière. La taille et le nombre des quadrats sont variables selon l'hétérogénéité du milieu, les densités observées de mollusques et la taille des individus recherchés. Un quadrat trop petit entraîne le risque de manquer des espèces de grande taille, alors qu'un quadrat trop grand masque la diversité des microhabitats, une surface de 0,25 m² pouvant par exemple contenir une touffe d'herbe, un bloc et un morceau de bois, abritant chacun des espèces différentes.

- **La récolte d'un volume défini de litière**

Ces deux premières méthodes présentent l'avantage de donner une image assez juste du peuplement en place, en échange d'un temps de



Zonite d'Alger,
dit encore Escargot Peson, fréquent en Provence.

D'après CUCHERAT & DEMUYNCK (2008), il n'existe pas de véritable consensus quant à l'utilisation d'une méthode standardisée permettant de faire des comparaisons d'un site à l'autre, les caractéristiques du site influençant grandement la mise en œuvre des méthodes.

Les auteurs mettent l'accent sur la pertinence d'un échantillonnage stratifié.

tri long et laborieux. Elles sont inapplicables sur certains substrats, comme des substrats rocheux par exemple.

D'autres méthodes sont plus rapides en terme de temps de capture et de tri, mais beaucoup plus sélectives. Il s'agit de :

- **La chasse à vue**

cette méthode entraîne souvent l'oubli des petites espèces, ainsi que des espèces de la litière ou des fissures des roches. Elle est souvent utilisée en complément des quadrats. La récolte peut être faite selon un temps limité (15 minutes à une heure généralement), ou jusqu'à ce qu'aucune nouvelle espèce ne soit contactée.

- **Les pots-pièges** (pitfall traps) [fiche 13 - figure 32) sont assez rarement utilisés, car ils ne capturent que les espèces très mobiles.

- **Les pièges à limaces** donnent de bons résultats pour certaines grandes espèces mobiles. Cela peut être des plaques (en PVC, polystyrène, brique...) qui fournissent des abris humides et

tempérés, attractifs pour les mollusques. Le recours à des boîtes de Petri remplies de farine de son et d'aliments pour chat humidifiés fournit aussi des résultats intéressants.

• **Le fauchage au filet ou le battage au parapluie japonais** [fiche 13] ne permet la capture que des espèces escaladant la végétation.



O. Delzons



O. Delzons

Tableau 11

Caractéristiques d'application des méthodes d'étude des mollusques terrestres

Inventaire des mollusques terrestres						
Méthodes	Quadrats	Volume de litière	Chasse à vue	Pots-pièges	Piège à limaces	Fauchage et battage
Domaines d'application	Tous les milieux, mais peu applicable sur les substrats rocheux	Tous les milieux, mais peu applicable sur les substrats rocheux	Tous les milieux	Tous les milieux	Tous les milieux	Strate herbacée et buissonnante
Limites	Temps de tri long	Temps de tri long	Milieux peu accessibles (ronciers...) : espèces petites ou vivant dans le sol sous-échantillonnées	Espèces mobiles seulement	Espèces mobiles seulement	Espèces liées à la végétation seulement
Compétences requises	Très bonnes connaissances en écologie et en systématique des mollusques					
Coûts	Variables selon l'accessibilité des stations et la complexité des milieux					

BIBLIOGRAPHIE

CUCHERAT X. - *Les mollusques continentaux de la région Nord-Pas-de-Calais. Liste des espèces, échantillonnage et base de données. Diplôme supérieur de recherche en sciences naturelles.* - Université des sciences et technologies de Lille, 2003.

CUCHERAT X., DEMUYNCK S. - *Les plans d'échantillonnage et les techniques de prélèvement des mollusques continentaux.* - MalaCo, 2008 - 5, p. 244-253.

DURAND O. - *Carrières de roche massive, sablières, argilières des Mauges et biodiversité - Expérimentation 2002-2006, Résultats.* - CPIE Loire et Mauges, 2006.

LAPRUN M. - *Mise en place d'un protocole de suivi standardisé des invertébrés aquatiques sur douze carrières alluvionnaires et premières idées d'interprétation. Rapport de stage de master professionnel.* - UPMC pour ANVL, 2008.

MAGNIN F. et al. - *Gastropods communities, vegetation dynamics and landscape changes along an old-field succession in Provence, France.* - *Landscape and urban planning*, 1995 - 31, p. 249-257.

PRIÉ V. et al. - *Une population majeure de la très rare Grande Mulette *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793) (Bivalvia : Margaritiferidae) dans le fleuve Charente (France)* - MalaCo, 2008 - 5.

PRIÉ V., PHILIPPE L., COCHET G. - *Évaluation de l'impact d'un projet de canal sur les náyades de l'Oise (France) et découverte de valves récentes de *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793) (Bivalvia : Margaritiferidae)* - MalaCo, 2007 - 4, p. 176-183.



10

FICHE 10

Les araignées

INVERTÉBRÉS (HORS INSECTES)



R. Lecomte (Encem)

LES ARAIGNÉES

GÉNÉRALITÉS

D'après l'Inventaire national du Patrimoine naturel, 1 639 espèces sont recensées en France métropolitaine.

Elles sont présentes dans beaucoup d'habitats, avec généralement une grande diversité (en moyenne de 40 à 150 espèces par habitat), et de fortes densités (quelques dizaines à plus de mille individus par m², d'après MARC *et al.* [1999]). Toutes sont prédatrices, la très grande majorité se nourrissant d'insectes. Hormis quelques espèces spécialisées, par exemple myrmécophages (prédatrices de fourmis) ou aranéophages (prédatrices d'araignées), et une espèce aquatique, *Argyroneta aquatica*, qui tisse sa toile et chasse sous l'eau, ce sont exclusivement des prédateurs terrestres généralistes, capturant tout type d'arthropodes.

Ce n'est pas pour autant un groupe fonctionnel homogène, toutes n'exploitant pas les mêmes parties de la végétation, ou n'utilisant pas les mêmes techniques de chasse (CANARD, 1984). On peut ainsi distinguer les araignées tissant des toiles, géométriques (*Araneidae*) ou non (*Theridiidae*, *Linyphiidae*, ...), de celles chassant à la vue (*Salticidae*, *Lycosidae*...) ou à l'affut (*Thomisidae*...).

Certaines espèces sont plutôt opportunistes, ou liées à des habitats perturbés, alors que d'autres ont des exigences écologiques strictes, à l'échelle du microhabitat.

Un trait particulier de la biologie des araignées confèrent à beaucoup d'espèces, en particulier au stade jeune, de très grandes capacités de colonisation. C'est la dispersion aérienne, ou « ballooning », connue plus familièrement sous le nom de « fil de la vierge ». Les araignées tissent un fil de soie qu'elles laissent traîner dans le vent, qui finit par les emporter dans les airs, sur de très grandes distances, parfois à plus d'un kilomètre d'altitude.

La présence d'une espèce est en règle générale assez peu informative sur un habitat, beaucoup d'espèces ayant une valence écologique large, et/ou des exigences écologiques mal connues.



P. Gourdain (MNHN/SPN)

Eresus cinnaberinus

Ce sont surtout les espèces patrimoniales qui sont prises en compte en tant qu'espèces (ex. : SCAP - stratégie de création d'aires protégées). Le plus pertinent, et employé, correspond aux araignées en tant que groupe. Des indices d'évaluation des communautés ont été mis au point (CANARD *et al.* 1999, PÉTILLON *et al.* 2010).

Cependant, les araignées sont un groupe pertinent en termes de bio-indication, à d'autres échelles, notamment grâce à leur place dans les réseaux trophiques de prédateurs d'invertébrés et de proies pour les vertébrés. À l'échelle de la population, elles peuvent être indicatrices de la ressource trophique par exemple, la vitesse de croissance ou le taux de reproduction pouvant être corrélé à l'abondance des proies. Elles sont aussi utilisées pour leur capacité à accumuler les métaux lourds du sol ou de l'air.

Les communautés d'espèces sont elles aussi riches d'enseignements. Sur un même site, en réponse à des variations de l'environnement, le groupe fonctionnel « prédateur terrestre » peut rester le même, alors que les espèces dominantes varient.

Les araignées sont en particulier sensibles à l'architecture de la végétation, et peuvent répondre plus vite que la végétation à des perturbations comme la fauche, par exemple. La profondeur et la composition des débris de la litière, déterminant

des microhabitats divers, peuvent être elles aussi très importantes.

De plus, les différences de capacité de dispersion entre différents groupes peut être elle aussi informative.

Ainsi, un milieu riche en espèces à dispersion aérienne sera souvent synonyme d'une perturbation forte récente.

C'est donc, pour résumer, un bon groupe indicateur de la qualité des milieux, par ses caractéristiques biologiques et écologiques, sa diversité, sa taxonomie assez aboutie, et la relative facilité de son échantillonnage.

Différentes voies existent pour prendre en compte les araignées, comme l'étude conjointe de plusieurs groupes d'invertébrés terrestres : araignées et coléoptères* (PÉTILLON *et al.*, 2008), araignées et carabes (DERRON *et al.*, 2006) ; araignées, carabes et syrphidae* (GERBER *et al.*, 1998), la comparaison des réactions à des perturbations d'une espèce de milieu perturbés et d'une espèce de milieu stable (MARSHALL *et al.*, 2006) ou encore la détermination de communautés théoriques d'araignées associées à chaque habitat, comparables avec les communautés observées *in situ* (CANARD *et al.* [1999]., in MARC *et al.*, 1999).

MÉTHODES

La phase aérienne de dispersion des araignées nécessite un matériel spécifique pour être échantillonnée. Il s'agit en particulier de pièges gluants, de pièges aspirants, montés sur un mât par exemple, de pièges fenêtres, voire de piégeage par avion.

Cependant, les informations apportées concernant essentiellement les capacités de dispersion ainsi que la difficulté de détermination des stades juvéniles rendent l'étude de la dispersion aérienne marginale dans le cadre qui nous intéresse.

C'est donc le piégeage ou la capture terrestre qui est généralement privilégié.

Les méthodes utilisées sont souvent similaires à celles mises en œuvre pour capturer les insectes. Il s'agit en particulier de :

- **La chasse à vue** - elle consiste à rechercher un maximum d'espèces sur un site ou une surface prédéfinie (transect ou quadrat par exemple = chasse à vue sur surface délimitée). La visualisation des toiles, par aspersion de gouttelettes d'eau,

permet de faciliter les recherches. C'est une méthode particulièrement adaptée pour les espèces du sol ou vivant dans la végétation herbacée, comme pour les espèces vivant dans les arbres et les arbustes (ou espèces frondicoles*).

- **L'extraction ou carré de ramassage** - il s'agit de prélever la végétation et le sol contenus dans un carré prédéfini. L'ensemble est ensuite trié à vue en laboratoire, une partie pouvant être traitée par un appareil de Berlèse ([fiche 13], figure 37). CANARD (1981) préconise par exemple un carré de 0,1 m² sur 15 cm d'épaisseur, représentant 30 à 35 heures de tri par m². POZZI (2000) utilise lui des surfaces de 0,25 cm² sur 5 cm d'épaisseur. La séparation de chaque strate de végétation et de sol permet d'avoir une vision en trois dimensions du peuplement.

C'est une méthode très efficace qui permet de récolter la majorité des espèces présentes, et de calculer des densités, ou des biomasses. Mais elle est très gourmande en temps et impacte doublement le milieu et le peuplement d'araignées.

Il est possible, lorsque le milieu s'y prête (pelouse basse, sol dégagé), de seulement chasser à vue dans cette surface délimitée. C'est moins efficace mais plus rapide et moins destructeur et surtout, les résultats sont en densités (individus/unité de surface) ;

• **Le prélèvement de rameaux** - la végétation ligneuse est emprisonnée dans un sac en plastique, et la branche sectionnée. Le tout est trié en laboratoire. Le temps de tri est long, avec un impact certain sur le milieu. Résultats possibles en individus/unité de volume et en abondance relative ;

• **Le battage** ([fiche 13], figure 40) - la végétation est battue avec un bâton ou secouée, et les araignées qui se laissent choir sont récupérées à l'aide d'un parapluie japonais. Toujours d'après CANARD (1984), les deux méthodes de récolte (prélèvement et battage) sont équivalentes en termes d'espèces récoltées. Les résultats ne peuvent être exploités qu'en abondance relative.

• **Le fauchage au sol** - un filet-fauchoir ([fiche 13], figure 39) est passé dans la végétation herbacée. C'est une méthode réservée surtout aux milieux ouverts comme les pelouses*, les landes ou les prairies. Le moment journalier de la pratique est important car les espèces errantes diurnes montent le jour et les errantes nocturnes la nuit. En dehors de leur période d'activité, les araignées sont au sol et ne peuvent donc être capturées. Les résultats ne sont possibles qu'en abondance relative.

Le fauchage piégeage au sol (« pitfall traps », pots-pièges ou pièges Barber, [fiche 13 - figure 32] - des cylindres (type gobelet en plastique par exemple, ou entonnoir en zinc de 60 cm de circonférence pour CANARD) sont placés dans le sol, avec leur ouverture à ras du sol. Les araignées mobiles chutent dans le récipient, qui contient un liquide conservateur. Seules les espèces se déplaçant au sol sont capturées, plus rarement les espèces à toile ou frondicoles. Les captures sont en nombre de capture/unité de surface de pièges ou unité de circonférence/unité de temps de piégeage. Il ne s'agit pas d'abondances relatives car les probabilités de captures sont différentes suivant les espèces, les stades de développement, les sexes. C'est très pratique mais délicat à exploiter (nombre de captures/mètre/jour).

• **Les carrés in situ** - MULHAUSER (1991) décrit cette méthode. Un carré de 4 m² est défini au hasard. L'observateur recense toutes les araignées sans les capturer, et sans rentrer dans le carré (carré de ramassage ou chasse à vue sur surface délimitée). Puis il répète l'opération à l'intérieur du carré. Pour chaque araignée, la position dans la végétation, la nature du support et l'exposition sont notés, afin d'obtenir une image en trois dimensions du peuplement. Beaucoup d'auteurs préfèrent utiliser plusieurs méthodes qui, d'après CANARD, présentent toutes des biais.

Citons par exemple des extractions de 20 cm de profondeur sur 50 cm de diamètre, associées à une chasse à vue sur un transect de 20 m de long sur 1 m de large (pour CATTIN 2003) ; des groupes de trois pots pièges, chacun placé au sommet d'un triangle de 3 m de côté, et relevés toutes les semaines pendant deux mois, complétés par 5 passages par an au filet-fauchoir (50 coups de droite à gauche dans le sens de la marche) et 3 fois 5 coups à 3 m d'intervalle, 5 fois par an, de parapluie japonais pour Pozzi (2004). Les méthodes étant toutes « relatives », la normalisation a pour but de limiter les biais. Le fauchage est préférable si l'on donne à chaque fois le même nombre de coups de filets. Pour le battage ou le piégeage, la taille des outils, le nombre d'outils (pièges) ou d'utilisations (coups) gagnent en fiabilité de résultats s'ils sont normalisés.



L'argiope fasciée
Argiope bruennichi

KOVOOR (2000) utilise pour une campagne d'inventaire la plus complète possible, dans les îles d'Hyères, en deux passages, l'un à l'automne et l'autre au printemps, pour capturer au maximum les adultes, avec un repérage à vue au sol et dans la végétation, des recherches avec filet-fauchoir, des battages de branches pour les espèces frondicoles et des extractions au Berlèse de la litière.

MULHAUSER propose, dans le cadre d'un suivi sur un site, une première étude par extraction afin d'obtenir une image fiable et quasi exhaustive du peuplement, suivie d'études par des carrés *in situ*, plus simples et donnant une image de l'évolution des peuplements.

D'une façon générale, la majorité des individus est adulte soit au printemps, soit en fin d'été. Beaucoup de linyphiidés (une grande part des captures au sol) sont adultes plutôt en hiver mais des campagnes de prélèvements de printemps ou d'automne les capturent. Deux campagnes de prélèvements : une de printemps, une autre de fin d'été-automne sont suffisantes. En général, seuls les

adultes sont identifiables mais, contrairement aux coléoptères par exemple, ils sont présents dans le milieu pour une durée assez longue, au moins pour les femelles. Les mâles sont plus brièvement présents (ils meurent après l'accouplement). Les femelles, après fécondation, s'occupent de leur ponte, voire de leur progéniture et souvent il y a plusieurs pontes qui se succèdent au cours du temps, d'où une présence de plusieurs mois dans le milieu. Cette biologie est très différente de celle de beaucoup d'espèces d'insectes qui apparaissent dans le milieu, se reproduisent en une seule fois et disparaissent rapidement.

Tableau 12

Comparaison des méthodes d'échantillonnage des araignées (d'après CANARD [1981], MULHAUSER [1991])

Méthodes	Groupes visés	Respect du milieu	Respect de la faune	Représentation fidèle du peuplement	Image en trois dimensions du peuplement	Durée de l'échantillonnage et du tri
Chasse à vue	Peu sélectif	++	++	+	+	+
Extraction	Espèces non frondicoles	-	-	+	-	+++
Fauchage	Très sélectif	+	+	-	-	+
Piège au sol	Espèces mobiles au sol	+	-	-	-	++
Rameaux prélevés	Espèces frondicoles	-	-	+	-	++
Rameaux secoués	Espèces frondicoles	+	+	+/-	-	+
Carré <i>in situ</i>	Espèces non frondicoles	++	++	-	++	-

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude des araignées.

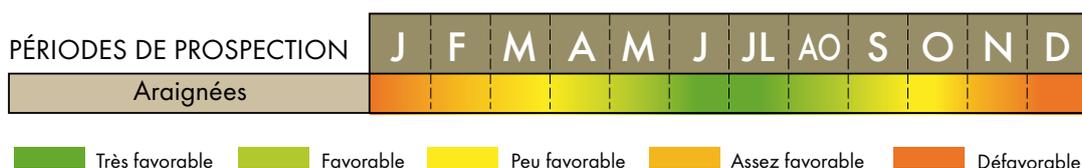


Tableau 13

Caractéristiques d'application des méthodes d'inventaire des araignées

Méthodes	Inventaire des araignées					
	Chasse à vue	Rameaux	Carré <i>in situ</i>	Pièges Barber	Extraction	Fauchage
Domaines d'application	Tous les milieux	Espèces frondicoles	Espèces terrestres	Espèces terrestres	Espèces terrestres	Espèces terrestres
Limites	Toutes les espèces ne sont pas capturées					
Compétences requises	++	++	++	++	++	++
Coûts	+	++	+	++	++	+

Philaeus chrysops

BIBLIOGRAPHIE

CANARD A. - *Contribution à la connaissance du développement, de l'écologie et de l'écophysiologie des aranéides des landes armoricaines.* - Rennes : Thèse de doctorat d'état, 1984 - p. 1-389.

CANARD A. - *Utilisation comparée de quelques méthodes d'échantillonnage pour l'étude de la distribution des araignées en landes.* - Atti. Soc. Tosc. Sci. Nat., 1981 - 88, p. 84-94.

CANARD A., MARC P., YSNEL F. - *An experimental system to test Invertebrate biodiversity by means of spiders.* - Bull. Br. Arachnol. Soc., 1999 - p. 319-323.

CATTIN M.F. *et al.* - *The impact of mowing as a management strategy for wet meadows on spider (Araneae) communities.* - Biological Conservation, 2003 - 113, p. 179-188.

DERRON J.O., BLANDENIER G. - *Évolution des peuplements de carabes et d'araignées dans cinq types d'habitats du domaine de Changins de 1994 à 2001.* - Revue suisse agricole, 2006 - 38(3), p. 141-149.

GREENSTONE M.H., MORGAN C.E., HULTSCH A.L. - *Ballooning methodology : equations for estimating masses of sticky-trapped spiders.* - J. Arachnol., 1985 - 13, p. 225-230.

KOVOOR J., MUÑOZ-CUEVAS A. - *Diversité des arachnides dans les îles d'Hyères (Porquerolles et Port Cros, Var, France). Modifications au cours du XX^e siècle.* - Zoosystema, 2000 - 22(1), p. 33-69.

MARC P., CANARD A., YSNEL F. - *Spiders (Araneae) useful for pest limitation and bioindication.* - Agriculture, Ecosystems and Environnement, 1999 - 74, p. 229-273.

MAELFAIT J.P., BAERT L. - *Les araignées sont-elles de bons indicateurs écologiques ?* - C.R. X^e Coll. Europ. Arachnol., Bull. Soc. Sci. Bretagne - 59, p. 155-160.

MAELFAIT J.P., HENDRICKX F. - *Spiders as bio-indicators of anthropogenic stress in natural and semi-natural habitats in Flanders (Belgium): some recent developments.* - Edimburgh : Proceedings of the 17th European Colloquium of Arachnology, 1998 - p. 293-300.

MARSHALL S.D., WALKER S.E., RYPSTRA A.L. - *Two ecologically-divergent generalist predators have different responses to landscape fragmentation.* - OIKOS, 2006 - 114, p. 241-248.

MULHAUSER B., CURTY J. - *Comparaison de deux méthodes d'étude sur l'écologie et la structure des peuplements d'araignées des lisières.* - Bull. Soc. Neuchâtel Sci. Nat., 1991 - 116(1), p. 185-193.

PÉTILLON J. *et al.* - *Influence of abiotic factors on spider and ground beetle communities in different salt marshes systems.* - Basic and applied ecology, 2008 - 9, p. 743-751.

PÉTILLON J. *et al.* - *Les araignées au fil de la gestion.* - Espaces naturels, 2010 - 31, p. 36-37.

POZZI S. - *Évaluation des mesures de compensation écologique dans la région de Nuville-Combremont par le biais des araignées.* - Revue suisse agricole, 2004 - 36(2), p. 57-64.



11

FICHE 11

Les écrevisses

INVERTÉBRÉS (HORS INSECTES)



L. Paris (Parc Naturel Régional du Morvan)

LES ÉCREVISSSES

GÉNÉRALITÉS

Les écrevisses exercent un rôle important dans les écosystèmes* aquatiques dulcicoles, en tant que ressource alimentaire et économique, et en tant qu'espèces « parapluies », dont la présence et la protection sous-entend celles de nombreux autres taxons aux exigences similaires.

Les différentes menaces qui pèsent sur les trois espèces d'écrevisses françaises, ainsi que leurs exigences en termes d'habitat et de qualité de l'eau, incitent parfois les gestionnaires à prendre en compte ces crustacés.

Astacus astacus préfère les eaux calmes modérément chaudes, même vaseuses, alors qu'*Austropotamobius pallipes* fréquente les eaux courantes ou non, mais de très bonne qualité, très bien oxygénées, de la zone à truite, avec des fonds graveleux ou sableux. TROUILHÉ (2006) relativise ces assertions suite à une étude menée dans les Deux-Sèvres, où l'espèce apparaît être plus tolérante aux températures élevées ou aux faibles concentrations en oxygène que généralement admis, mais plutôt sensible aux concentrations en matière organique, ou aux perturbations diverses du milieu.

Austropotamobius torrentium a quant à elle une répartition très limitée en France (départements de l'Est).

Les populations de ces trois espèces se sont effondrées en France suite à l'altération physique des biotopes* (envasement, destruction des berges), à la pollution chimique (métaux lourds,

substances eutrophisantes), à la pêche intensive et à la concurrence d'espèces de poissons et d'écrevisses exotiques, ces dernières étant de surcroît porteuses d'agents pathogènes (« peste de l'écrevisse »).

Ces trois espèces figurent dans la directive Habitats-Faune-Flore. Elles sont protégées sur le plan national, et leur pêche est, suivant les départements, strictement interdite, ou tolérée sur au maximum une période de 10 jours.

Elles peuvent donc être prises en compte, par exemple dans les études d'incidence Natura 2000* portant atteinte au milieu aquatique.



P. Gourdain (MNHN/SPN)

Écrevisse à pattes blanches
Austropotamobius pallipes

MÉTHODES

Il est parfois possible de détecter leur présence à l'aide de techniques simples, comme la pêche à l'épuisette ou à la main, après retournement d'éléments du substrat (pierres), en journée, ou la recherche à vue à la lampe, de nuit. La pose de nasses ou de balances, appâtées ou non, est aussi fréquemment utilisée.

Cependant, seules des techniques plus lourdes à mettre en place comme la pêche électrique [fiche 24] ou une campagne de capture-marquage-recapture [fiche 3] permettent d'apprécier la densité réelle de la population.

Les techniques passives (nasses, balances, appâtées ou non) sont assez sélectives. En revanche, la pêche électrique ou la pêche à l'épuisette permettent de capturer tous les stades, y compris les jeunes de l'année, ce qui permet

notamment d'appréhender la dynamique de la population présente.

Certaines techniques abordées dans la fiche concernant les macroinvertébrés aquatiques [fiche 12] peuvent également permettre de récolter des données sur ce groupe.



V. Demougin (MNHN/SPN)

Écrevisse de Louisiane
Procambarus clarkii

Tableau 14

Caractéristiques d'application de l'inventaire des écrevisses

Méthodes	Inventaire des écrevisses		
	Pêche à vue	Piégeage	Pêche électrique
Domaines d'application	Milieux aquatiques peu profonds	Milieux aquatiques	Milieux aquatiques < 2 m de profondeur
Limites	Pas d'appréciation de densités	Autorisation de capture	Autorisation de capture
Compétences requises	+	+	+++
Coûts	++	+++	+++

BIBLIOGRAPHIE

DUBOIS J.P., GILLET C., MICHOU D. M. - *Extension d'une espèce envahissante : suivi de la population d'écrevisses signal [Pacifastacus leniusculus (Dana)] au Léman, à l'ouest de Thonon-les-Bains entre 2001 et 2005 - Impact de la pêche.* - Bull. Fr. Pêche Piscic., 2006 - 382, p. 45-56.

HUCHET P. - *Plan de conservation des populations d'écrevisses à pieds blancs (Austropotamobius pallipes) du bassin versant du Chéran (Haute-Savoie). Diagnostic et propositions de gestion.* - Fédération de Haute-Savoie pour la pêche et la protection du milieu aquatique, 2007.

NEVEU A. - *Caractéristiques démographiques de stocks résiduels de l'écrevisse à pattes blanches, Austropotamobius pallipes (Astacidae) en Normandie.* - Cybium, 1996 - 20(3), p. 75-93.

NEVEU A. - *Étude des populations d'Austropotamobius pallipes (Crustacea, Astacidae) dans un ruisseau forestier de Normandie. 1- Structures démographiques et croissance : stabilité et variabilité au cours de six années.* - Bull. Fr. Pêche Piscic., 2000 - 356, p. 71-98.

NEVEU A. - *Étude des populations d'Austropotamobius pallipes (Crustacea, Astacidae) dans un ruisseau forestier de Normandie. 2- Répartition en fonction des habitats : stabilité et variabilité au cours de cinq années.* - Bull. Fr. Pêche Piscic., 2000 - 356, p. 99-122.

REYJOL Y., ROQUEPLO C. - *Répartition des écrevisses à pattes blanches Austropotamobius pallipes (Lerebrouillet, 1858) dans trois ruisseaux de Corrèze ; observation particulière des juvéniles.* - Bull. Fr. Pêche Piscic., 2003 - 367, p. 741-759.

SOUTY-GROSSET C. et al. - *Atlas of crayfish in Europe.* - Paris : Patrimoines naturels, MNHN, 2006 - 64, p. 1-187.

TROUILHÉ M.C. - *Étude biotique et abiotique de l'habitat préférentiel de l'écrevisse à pattes blanches (Austropotamobius pallipes) dans l'ouest de la France. Implications pour sa gestion et sa conservation.* - Thèse de l'université de Poitiers, 2006.

TROUILHÉ M.C. et al. - *Management of the white-clawed crayfish (Austropotamobius pallipes) in western France : abiotic and biotic factors study.* - Bull. Fr. Pêche Piscic., 2003 - 370-371, p. 97-114.



O. Delzons

Écrevisse américaine
Oreonectes limosus





12

FICHE 12

Les macroinvertébrés aquatiques

INVERTÉBRÉS (HORS INSECTES)



M. Parisot-Laprun

LES MACROINVERTÉBRÉS AQUATIQUES EN EAU STAGNANTE

GÉNÉRALITÉS

Le terme de macroinvertébrés aquatiques comprend ici les groupes taxonomiques concernés par la définition de TACHET *et al.* (2002), c'est-à-dire l'ensemble des invertébrés de la colonne d'eau et épibenthiques* (les organismes vivant plus profondément dans les sédiments, dits phréatobies, en sont donc exclus) des eaux superficielles, présentant une taille d'au moins 3 à 5 mm au dernier stade de leur développement. Citons quelques exemples de taxons inclus dans ce groupe : trichoptères, éphéméroptères, odonates, coléoptères, hétéroptères, diptères, plécoptères, cnidaires, turbellariés, oligochètes, achètes, gastéropodes, bivalves...

L'étude des communautés* de macroinvertébrés aquatiques peut permettre d'évaluer la qualité et la structuration du milieu aquatique dans lequel elles ont été prélevées. En effet, cet ensemble de taxons* est particulièrement informatif du fait de la capacité de dispersion limitée, du cycle de vie généralement annuel, de l'appartenance à des niveaux trophiques variés ou encore de la sensibilité différentielle à diverses formes de pollution des différentes familles qui en font partie. En présence d'une pollution ou d'une dégradation du milieu, on observe ainsi généralement une diminution de la diversité de taxons observés et une disparition des taxons les plus polluo-sensibles. Ces

phénomènes sont notamment utilisés pour l'élaboration d'indices biotiques tels que l'Indice biotique global normalisé (IBGN) [fiche 33] (TACHET *et al.*, 2000).

Le suivi des macroinvertébrés aquatiques en milieu d'eau courante est assez communément employé afin d'évaluer la qualité des cours d'eau, notamment à travers le calcul de l'IBGN. En milieu d'eau stagnante, la mise en place d'un tel suivi est moins habituelle mais plusieurs méthodes peuvent être employées pour évaluer les communautés présentes au sein des plans d'eau.

MÉTHODES

Certaines méthodes peuvent être utilisées uniquement pour la récolte de données qualitatives, tandis que d'autres, plus standardisées, peuvent être employées aussi bien dans le cadre d'un échantillonnage qualitatif, que pour une analyse quantitative des communautés. Dans ce second cas, les surfaces ou volumes prélevés et les méthodes employées sont standardisés de façon à assurer leur reproductibilité dans le temps et l'espace. Ainsi, une comparaison de plusieurs stations de prélèvement ou de plans d'eau peut être réalisée.

Quelques préconisations générales sont données pour l'ensemble des méthodes.

- La taille des mailles de filets ou filtres recommandée est variable selon l'objectif de l'étude et les groupes visés. En effet, les oligochètes nécessitent des vides de maille de 250 à 300 μm . Cependant, si les taxons de très petite taille, tels que les oligochètes, ne sont pas visés, il est préférable d'augmenter la largeur des mailles car des filets trop fins entraîneront des échantillons pollués par du substrat et des débris divers. Pour ce deuxième cas de figure, un vide de maille de 450 à 500 μm semble être un bon compromis (TACHET *et al.*, 2000, GRANT *et al.* 2002).
- Les échantillons étant généralement déterminés après récolte sur le terrain, ils seront conservés dans de l'alcool à 70 °, ou éventuellement du formol à 4 % devant être manipulé avec précaution.
- Le rang taxonomique utilisé pour les déterminations doit être choisi en fonction des objectifs de l'étude. Dans certains cas, le rang de la famille ou du genre peut être suffisant, tandis que dans d'autres, le rang de l'espèce sera indispensable pour étudier finement certains critères tels que l'impact d'une pollution par exemple.
- Les techniques d'échantillonnage proposées sont destructrices. Elles doivent donc être utilisées avec parcimonie. Elles ne devront notamment pas induire la destruction, l'altération ou la dégradation totale des habitats et des populations des communautés animales.

En milieu lotique*, les stations de prélèvement sont souvent définies par des tronçons dont la longueur représente approximativement dix fois la largeur du cours d'eau. En milieu lentique*, les plans d'échantillonnage sont plus variés et dépendent des objectifs poursuivis : répartition des stations de prélèvement de façon à obtenir une bonne représentativité des différents types d'habitats existants, ciblage sur un microhabitat spécifique, échantillonnage aléatoire... Concernant les périodes d'échantillonnage, en milieux lenticques* profonds, le début du printemps semble le plus adapté (période d'homogénéisation thermique printanière des eaux, entre mars et mai selon l'altitude) (VERNEAUX *et al.*, 2004). Dans les autres cas, les périodes de basses eaux seront généralement privilégiées mais les dates précises sont à adapter à chaque cas en fonction des objectifs de l'étude, du contexte du site, de l'altitude... Il sera par ailleurs préférable de laisser un délai de quelques semaines après les périodes de crues en raison de la forte turbidité et du remaniement général du substrat (circulaire DCE*, 2007, STARCK *et al.*, 2001).

Échantillonnage au troubleau ou à l'épuisette - Cette technique vise l'ensemble des macroinvertébrés (benthiques*, de la colonne d'eau, épiphytes*).

Elle est couramment employée en milieu d'eau courante notamment dans le cadre de l'IBGN [fiche 33] mais peut également être utilisée en eau stagnante. Des va-et-vient avec le troubleau ou l'épuisette sont réalisés en formant des huit dans toutes les dimensions. Les tiges et les substrats submergés peuvent également être raclés à l'aide du cadre métallique afin de récupérer les individus qui y sont accrochés. Le contenu du troubleau est ensuite trié et les macroinvertébrés y sont prélevés. Cette méthode peu standardisée permet difficilement de comparer les résultats obtenus entre stations ou entre plans d'eau (sauf dans les cas où les surfaces prospectées, et notamment raclées, sont clairement définies et bien respectées).

Prélèvement et examen des microhabitats (végétation aquatique, substrats rocheux...)

Cette technique concerne uniquement les individus fixés sur des supports naturels.

Elle consiste à prélever de la végétation aquatique et à soulever des pierres, morceaux de bois et autres substrats afin de les examiner et de récolter les individus présents. Les éléments récoltés peuvent être placés dans un filet ou une époussette avant d'être sortis de l'eau, afin d'éviter la perte d'individus. Une adaptation d'un dispositif de type filet Surber pour le milieu lentique* peut également être réalisée pour prélever les individus



Adaptation d'un dispositif de type Surber au milieu lentique* (CUCHERAT, 2003)

fixés sur un substrat benthique* et les projeter à l'intérieur du filet. Cette adaptation consiste à fixer un coffre en bois à trois côtés pour éviter la dispersion du substrat et des individus lors de la récolte (CUCHERAT, 2003). Elle ne peut toutefois être utilisée que sur des zones peu profondes. Lorsque les surfaces ou les volumes prospectés sont clairement définis et bien respectés, cette

méthode peut éventuellement être utilisée pour une approche quantitative.

Plongée et utilisation d'un aquascope - Ces techniques de recherche à vue en milieu aquatique peuvent présenter une efficacité variable selon le type de milieu (limpidité, profondeur...) mais peuvent être suffisantes dans certains cas ou lorsque des groupes bien précis sont recherchés. Elles sont notamment employées dans le cadre de la recherche de bivalves* d'eau douce [fiche 9]. Elles semblent toutefois moins courantes en milieu lentique* et pour les individus mobiles.

Substrats artificiels - Ils visent principalement les espèces benthiques* et épiphytes*.

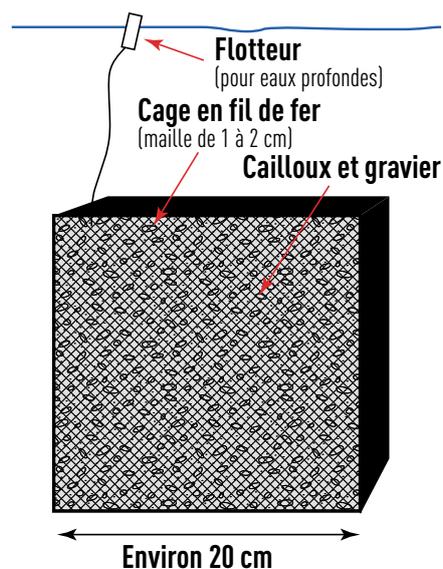
Ils peuvent être constitués de différents matériaux qui imitent ou remplacent les substrats naturels utilisés par les macroinvertébrés. L'utilisation de substrats artificiels identiques présente l'avantage de pouvoir comparer les résultats de diverses stations. Quelques exemples de substrats employés : cailloux et graviers enfermés dans une cage en grillage, brosse, plante artificielle, tampon à récurer, plaques posées sur le substrat, briques perforées. Il est généralement recommandé de poser ces substrats durant 2 semaines et d'éviter la perte d'individus lors de la récolte en les enveloppant d'un sac ou en les glissant dans un filet au moment de les sortir de l'eau (GRANT *et al.* 2002 et LAPRUN, 2008).

Figure 23 bis

Exemples de substrats artificiels
(GRANT *et al.* 2002 et LAPRUN, 2008)



M. Parisot-Laprun



Nasses - Elles visent les espèces mobiles de la colonne d'eau et peuvent être constituées de différents systèmes. Citons notamment l'utilisation de bouteilles en plastique dont le tiers supérieur est retourné vers l'intérieur pour former un entonnoir, ou la confection de nasses en grillage à mailles fines

avec un entonnoir à chaque extrémité. La durée de pose recommandée peut être variable selon les auteurs (24 h à 2 semaines) car, en cas de pose trop longue, il est noté le risque de prédation au sein des nasses par de petits poissons ou autres invertébrés prédateurs.

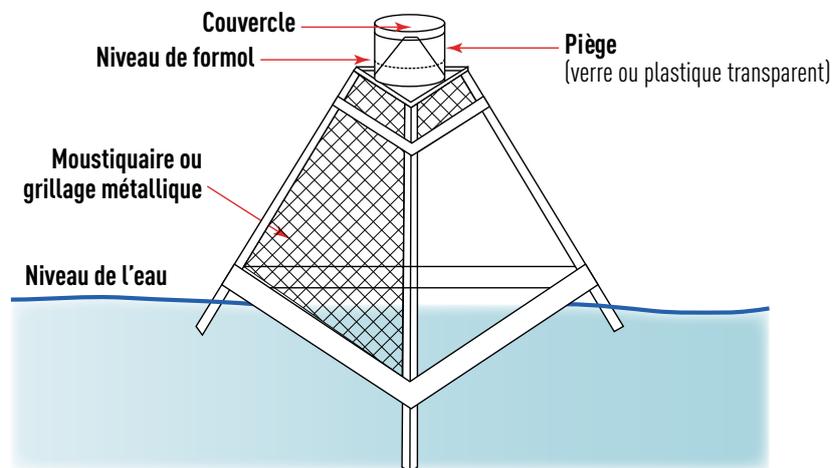
Échantillonneurs à volume fixe - Ces échantillonneurs permettent de prélever un volume fixe d'eau avec les individus qu'il contient. Ils visent donc les espèces mobiles au sein de la colonne d'eau. Des systèmes permettent de déclencher le prélèvement à une profondeur précise. Bien que cette technique soit plus couramment employée pour échantillonner le plancton aquatique, elle peut également être utilisée pour les macroinvertébrés.

Pièges à émergence - Cette technique a pour objectif de récolter soit des exuvies*, soit la phase aérienne des espèces (imago*), provenant de la transformation de larves aquatiques. Dans le cadre de cette technique, la détermination s'effectue alors soit sur les exuvies, soit sur les imagos.

Dans le cas de la récolte des exuvies, les pièges à émergence peuvent être constitués d'un support placé dans l'eau sur lequel les larves vont se fixer pour leur métamorphose en imagos. Ce support peut être un simple piquet ou une branche mais l'emploi d'un grillage fixé de façon à être mi-émergé, mi-immersé est plus courant. Cette technique est généralement employée pour les odonates [fiche 14], ou dans certains cas pour les éphéméroptères. Dans le cas de la récolte directe des imagos, des dispositifs flottants constitués d'une pyramide grillagée placée à la surface de l'eau et surmontée d'un récipient de collecte pour la réception des imagos dans un liquide conservateur sont utilisés.

Figure 24

Piège à émergence
(GRANT *et al.* 2002)



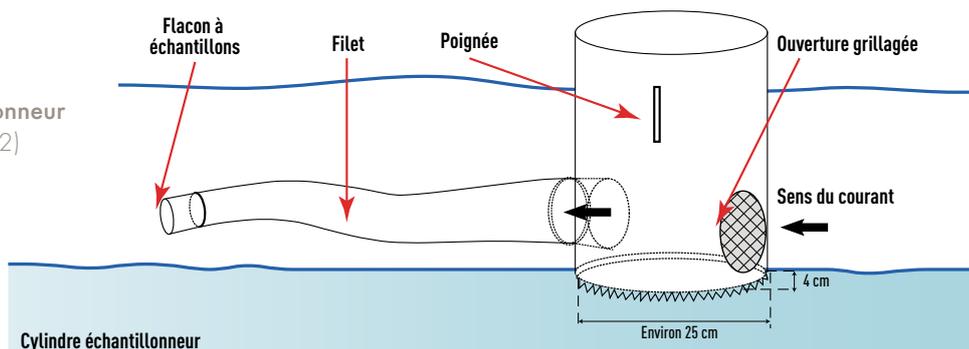
Prélèvements de sédiments - Cette technique vise uniquement les espèces benthiques* vivant au sein des sédiments.

Les prélèvements peuvent être réalisés à l'aide d'une drague ou d'une benne. Ils consistent alors à prélever un certain volume de sédiments (sur quelques centimètres de profondeur) puis de le filtrer et trier afin de récolter les macroinvertébrés présents. Cette technique est notamment utilisée dans le cadre de l'Indice Oligochètes de Bio-indication lacustre [fiche 40]. Un cylindre échantillonneur peut également être

employé : il est enfoncé dans le substrat sur quelques centimètres de profondeur puis des mouvements rotatifs sont réalisés, l'eau entrant dans le cylindre permettant d'entraîner les individus vers le filet et le flacon de collecte. Cette technique est utilisée en milieu lotique* car elle nécessite un courant. Enfin, on peut également utiliser une épuisette dont le cadre est enfoncé sur quelques centimètres de profondeur dans les sédiments et qui est poussée vers l'avant sur une distance déterminée.

Figure 25

Cylindre échantillonneur
(GRANT *et al.* 2002)

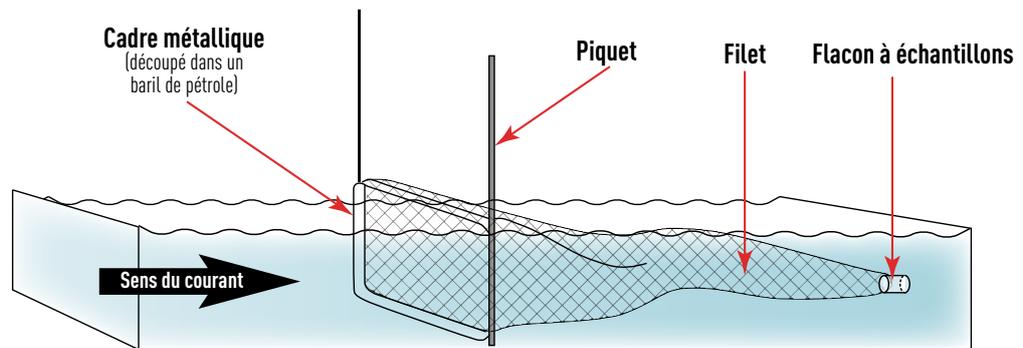


Échantillonnage à la dérive - Utilisée uniquement en milieu d'eau courante, cette technique permet de filtrer l'eau pénétrant dans un filet. L'ensemble des individus récoltés pendant une durée de pose définie sont ensuite récupérés

dans un flacon collecteur. Le filet et le flacon peuvent par exemple être vidés à intervalles de temps réguliers et des densités d'individus peuvent être calculées à partir du nombre récolté et du débit du cours d'eau.

Figure 26

Filet rectangulaire pour échantillonnage à la dérive
(GRANT *et al.* 2002)



Protocole utilisé dans le cadre du programme ROSELIERE

Un protocole standardisé regroupant plusieurs techniques est proposé au sein du programme ROSELIERE pour le suivi des plans d'eau issus de l'extraction de granulats. Cette méthode a l'avantage de coupler plusieurs techniques dans un dispositif unique composé de trois modules :

- un ensemble de substrats artificiels constitué d'une brosse en chiendent et d'une brique perforée permettant d'échantillonner les espèces benthiques ;
- une nasse bouteille comme présenté ci-dessus visant les espèces de la colonne d'eau ;
- un piège à émergence, sous forme de grillage, pour la récolte des exuvies d'odonates.

Pour faciliter la pose et le transport, l'ensemble est fixé sur un piquet qui est placé à une profondeur d'1 mètre au sein du plan d'eau. Seule la brique reste indépendante et est placée à proximité du piège à plus faible profondeur. L'ensemble du dispositif reste en place durant deux semaines. Afin d'éviter la perte d'individus lors de la relève, une bourriche de pêche ou un filet est placé sous et autour du piège au moment de le sortir de l'eau.



M. Parisot-Laprun



M. Parisot-Laprun

Tableau 15

Caractéristiques d'application de l'inventaire des macroinvertébrés

Méthodes	Méthodes qualitatives		
	Coups de troubleau ou épuisette	Microhabitats	Plongée et aquascope
Domaines d'application	Tous les milieux aquatiques	Milieux aquatiques peu profonds	Milieux aquatiques suffisamment limpides
Limites	Espèces de sédiments non échantillonnées	Espèces de la colonne d'eau et de sédiments non échantillonnées	Limitée par la visibilité
Compétences requises	++	++	++
Coûts	+	+	++

Méthodes	Méthodes standardisées /quantitatives					
	Substrats artificiels	Nasses	Échantillonneurs à volume fixe	Pièges à émergence	Prélèvements de sédiments	Échantillonnage à la dérive
Domaines d'application	Tous les milieux aquatiques	Tous les milieux aquatiques	Tous les milieux aquatiques	Tous les milieux aquatiques	Tous les milieux aquatiques	Milieux aquatiques courants
Limites	Restreinte aux espèces benthiques échantillonnées	Restreinte aux espèces de la colonne d'eau échantillonnées	Restreinte aux espèces de la colonne d'eau	Restreinte aux espèces à phase de vie aérienne	Restreinte aux espèces vivant dans les sédiments	Restreinte aux espèces de la colonne d'eau
Compétences requises	++	++	++	++	+++ pour la détermination des oligochètes	++
Coûts	+	+	++	+	++	+.

BIBLIOGRAPHIE

BALCOMBE C.K. *et al.* - *Aquatic macroinvertebrate assemblages in mitigated and natural wetlands.* - Hydrobiologia, 2005 - 541, p. 175-188.

BARBE J. *et al.* - *Actualisation de la méthode de diagnose rapide des plans d'eau - Analyse critique des indices de qualité des lacs et propositions d'indices de fonctionnement de l'écosystème lacustre.* - Cemagref et Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse, 2003.

BIGGS J. *et al.* - *A guide to the methods of the National Pond Survey.* - Oxford : Pond Action, 1998.

CUCHERAT X. - *Étude préliminaire à la mise au point d'une méthodologie de suivi des plans d'eau du bassin Artois-Picardie à l'aide des peuplements de mollusques aquatiques.* - Rapport de DESS - Douai : Agence de l'Eau Artois-Picardie, 2003.

DAVIS J. *et al.* - *Wetland Bioassessment Manual (Macroinvertebrates).* - National Wetlands Research and Development Program, non daté.

GOAZIOU Y. - *Méthodes d'évaluation de l'intégrité biotique du milieu aquatique basées sur les macroinvertébrés benthiques - Rapport de stage* - Québec : Ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, envirodoq, 2004 - 158 - collection n° QE/146.

GRANT I.F., TINGLE, C.C.D. (eds) - *Méthodes de suivi écologique pour évaluer les effets des pesticides dans les tropiques*. - Chatham, R-U : Natural Resources Institute, 2002.

HEIDEMANN H., SEIDENBUSCH R. - *Larves et exuvies des libellules de France et d'Allemagne (sauf de Corse)*. - Société française d'odonatologie, 2002.

KAGALOU I. et al. - *Assessment of a Mediterranean shallow lentic ecosystem (Lake Pamvotis, Greece) using benthic community diversity: Response to environmental parameters*. - *Limnologica*, 2006 - 36, p. 269-278.

LAPRUN M. - *Recueil de protocoles du programme ROSELIÈRE - Suivi scientifique standardisé de la biodiversité en carrière. Version 3*. - ANVL pour UNICEM IdF et UNPG, 2012.

LAPRUN M. - *Mise en place d'un protocole de suivi scientifique standardisé des invertébrés aquatiques sur douze carrières alluvionnaires et premières idées d'interprétation*. Rapport de stage de master professionnel, UPMC pour ANVL, 2008

MAZELLA L., DE BORTOLI J., ARGILLIER C. - *Note technique : Protocole d'échantillonnage des invertébrés benthiques adapté aux plans d'eau naturels profonds - Version provisoire*. - Cemagref et ONEMA, 2009.

MOCQ J. - *Biodiversité et valeur biologique des bassins autoroutiers : étude des macroinvertébrés benthiques des bassins de l'A11 (France)*. - Rapport de stage. Université d'Angers et INH, MNHN (UMR Conservation des Espèces, Restauration et Suivi des Populations), 2007.

PINEL-ALLOUL B. et al. - *Macroinvertebrate community as a biological indicator of ecological and toxicological factors in lake Saint-François (Québec)*. - *Environmental Pollution*, 1996 - 91, p. 65-87.

STARK J.D. et al. - *Protocols for sampling macroinvertebrates in wadeable streams. New Zealand Macroinvertebrate Working Group Report No 1*. - Ministry of Environment, Sustainable Management Fund Project, 2001 - 5103.

TACHET H. et al. - *Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie*. - Paris : CNRS Éditions, 2000.

VALDECASAS A.G. et al. - « Chapter 10 - Sampling continental freshwaters. » In *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring*, sous la direction de Eymann J. et al. - *Abc Taxa*, 2010 - 8(2), p. 213-272.

VERNEAUX V. et al. - *The Lake Biotic Index (LBI) : an applied method for assessing the biological quality of lakes using macrobenthos; the Lake Châlain (French Jura) as an example*. - *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.*, 2004 - 40(1), p. 1-9.

Circulaire DCE 2007/22 du 11 avril 2007 relative au protocole de prélèvement et de traitement des échantillons des invertébrés pour la mise en œuvre du programme de surveillance sur cours d'eau (DE / MAGE / BEMA 07 / n° 4)





13

FICHE 13

Insectes/Généralités

INVERTÉBRÉS / INSECTES



O. Delzons

INSECTES

GÉNÉRALITÉS

Part prépondérante de la biodiversité, tant sur le plan du nombre d'espèces (35 000 espèces en France) qu'en termes de biomasse*, ou encore dans le fonctionnement des chaînes trophiques, les insectes sont pourtant relativement peu exploités dans l'étude des écosystèmes terrestres.

En effet, le grand nombre d'espèces et d'individus rend vaine toute tentative de recensement exhaustif. De plus, nombre de groupes sont mal connus, et réservés à de trop rares spécialistes. Leur étude se faisant souvent à l'aide d'outils optiques de laboratoire multiplie les coûts et nécessite de lourds investissements en temps, en tri, en nettoyage, préparation et détermination.

Ce sont donc généralement certains groupes bien connus en termes d'exigences écologiques, de cycles de vie mais aussi de valeur patrimoniale, et relativement faciles à identifier, qui

sont pris en compte lors de certaines études.

Il s'agit en particulier des odonates* (libellules) [fiche 14], des rhopalocères* (papillons de jour) [fiche 21], des orthoptères* (sauterelles) [fiche 15], des hétérocères* (papillons de nuit) [fiche 16], de certains coléoptères* (carabidés [fiche 16] et coléoptères saproxyliques* [fiche 17]) et, dans une moindre mesure, de groupes comme les hyménoptères* apoïdes (bourdons) [fiche 18] ou *Formica* sp. (fourmis) [fiche 19] ou encore de diptères syrphidés* [fiche 20].



O. Delzons

MÉTHODES

Il existe différents types de méthodes :

- les méthodes absolues : sur une surface ou dans un volume donné isoler, par des systèmes de capture cumulatifs et continus, l'ensemble des invertébrés présents. Il s'agit, par exemple, des méthodes suivantes : cylindre d'extraction, aspirateur, nasse d'émergence ;
- les méthodes semi-exhaustives dont l'objectif est de corrélérer l'échantillon à une surface ou à un volume estimés. Il s'agit, par exemple, des méthodes suivantes : fauchage, battage, écorçage/brossage, tamisage ;
- les méthodes relatives : chasse à vue, thermonébulisation, pièges d'interception ou attractifs.

Tableau 16

Méthodes de prospection (d'après InventFor*, 2007)

Type de méthode	Objectifs	Exemples
Méthode absolue	Sur une surface ou dans un volume donné, isoler par des systèmes de capture cumulatifs et continus, l'ensemble des invertébrés présents	Cylindre d'extraction, aspirateur, nasse d'émergence
Méthode semi-exhaustive	Corrélérer l'échantillon à une surface ou à un volume estimés	Fauchage, battage, écorçage, brossage, tamisage
Méthode relative		Chasse à vue Thermonébulisation Pièges d'interception ou attractifs

1. Méthodes absolues

C'est ici l'ensemble des insectes présents sur une surface ou dans un volume donné qui est isolé par des systèmes de capture cumulatifs et continus.

Pour la strate herbacée, des cylindres d'extraction (toute la matière organique est prélevée dans un volume cylindrique, et les insectes vivant dans ou sur la végétation sont recueillis) ou des aspirateurs sont utilisés.

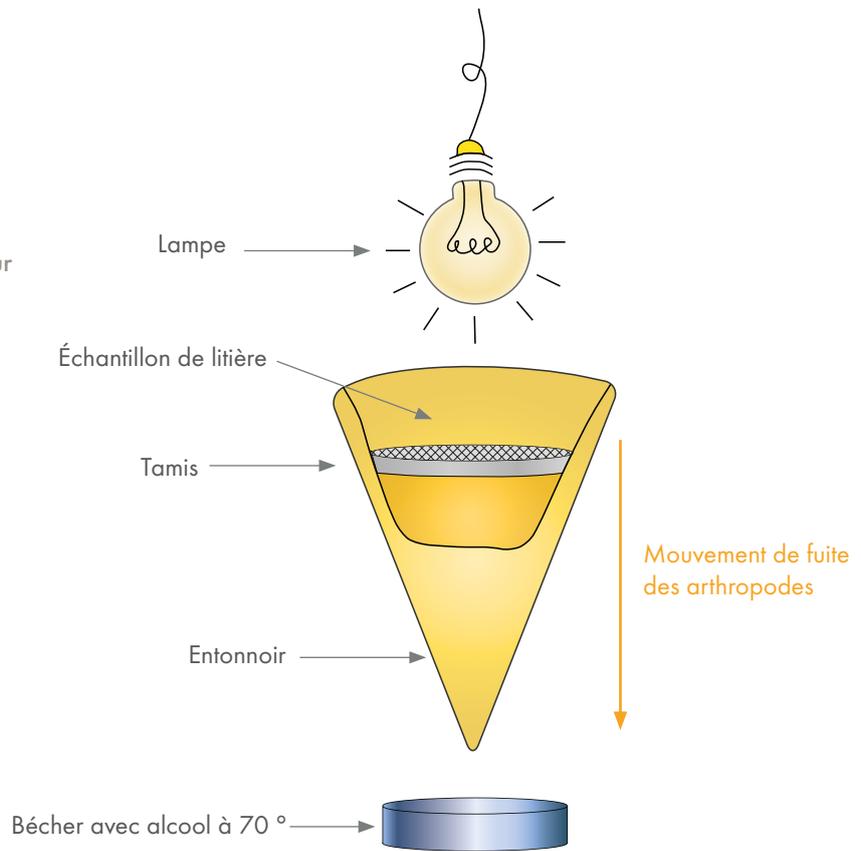
Pour l'étude des insectes dont les larves vivent dans des substrats difficiles à échantillonner, comme du bois mort, des champignons, des cadavres, des excréments, une nasse d'émergence peut être employée. Il s'agit d'une cage, généralement opaque, enveloppant le substrat dans sa totalité. Au bout d'un certain temps, les larves se métamorphosent en adultes, généralement plus mobiles, et quittent le substrat. Ils se dirigent vers une ouverture lumineuse, équipée d'un système collecteur où ils restent piégés (insectes à phototropisme positif, figure 40) [fiche 17]]. Dans une démarche assez similaire, on peut aussi

obtenir une cavité naturelle avec un système de collecte.

Les adultes étant plus faciles à déterminer que les larves, le recours à des pièges à émergence augmente le niveau de précision de la détermination. Deux espèces peuvent en effet posséder des stades larvaires similaires, et n'être différenciables qu'au stade adulte (voir le paragraphe 3 c) du présent chapitre).

Pour l'étude de la litière, les insectes peuvent être collectés à l'aide d'un appareil de Berlese (figure 27). Un échantillon de litière est prélevé, puis placé dans un entonnoir sous une source de chaleur et de lumière, de type lampe à incandescence, au-dessus d'une grille et d'un collecteur. Les insectes, fuyant la lumière, la chaleur et la déshydratation s'enfoncent dans la litière et tombent dans le collecteur.

La figure 28 présente un exemple de ce type de pièges, destinés à capturer des insectes coprophages, vivant dans les excréments. La dessiccation et la chaleur chassent les insectes qui sont guidés par la lumière vers un système de collecte.

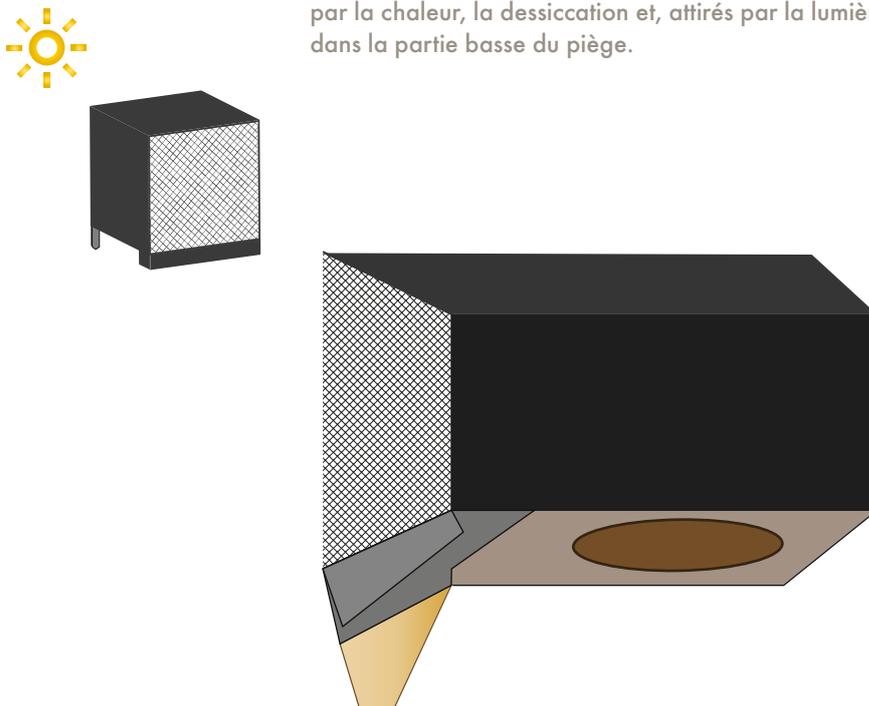
Figure 27Schéma d'un extracteur
de Berlèse

L'isolement de divers substrats lors de la mise en place de ces méthodes absolues permet de déceler des espèces souvent cryptiques, à période d'apparition courte dans la nature, souvent nocturnes. Les faunes étant spécifiques, il convient d'échantillonner les différents types de substrats présents sur le site étudié... L'encombrement

généralisé par la recherche, l'équipement, voire le déplacement d'autant de substrats peuvent devenir un facteur limitant, d'autant qu'un suivi aussi long que possible est à respecter (deux à quatre ans pour les espèces à cycle long). Ce sont donc généralement des méthodes coûteuses et difficiles à mettre en place.

Figure 28

Exemple de piège à coprophages, permettant d'extraire les insectes vivants dans les excréments. Les insectes sont chassés par la chaleur, la dessiccation et, attirés par la lumière, tombent dans la partie basse du piège.



2. Méthodes semi-exhaustives

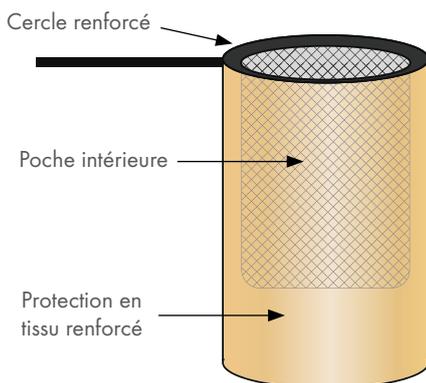
Dans ce cas, l'échantillon est corrélé à une surface ou à un volume donné, représentatif de la totalité d'un écosystème. L'effort d'échantillonnage est donc moins important que pour les méthodes absolues décrites précédemment.

Les insectes sont capturés par :

- **Fauchage** - À l'aide d'un filet-fauchoir (figure 13), détachant les insectes de la plante hôte (strate herbacée) sous le choc. L'effort de chasse standardisé (nombre de coups d'épauvette) peut être rapporté à une surface. Un filet standard est constitué d'un manche de 70 cm à 1 m, avec un cadre métallique rond de 30 cm de diamètre,

Figure 29

Filet-fauchoir



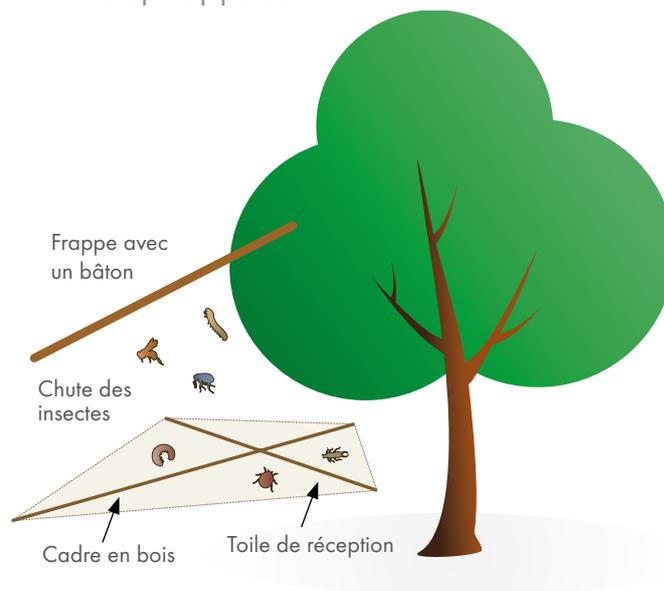
soutenant une toile très résistante, profonde de 50 cm.

- **Chalutage** - À l'aide d'un filet de large diamètre, amarré à un véhicule circulant sur une distance donnée, on collecte les insectes volants, le long d'un transect par exemple [fiche 2].

- **Battage** - Il consiste à frapper ou à secouer énergiquement les branchages (strate arbustive ou arborée) vivants ou morts à l'aide d'un bâton, de façon à faire choir les insectes sur une toile (dite montée ou « parapluie japonais », voir la figure 30 ci-dessous). Les insectes sont alors rapidement récoltés à l'aide d'un aspirateur à bouche (figure 31).

Figure 30

Parapluie japonais

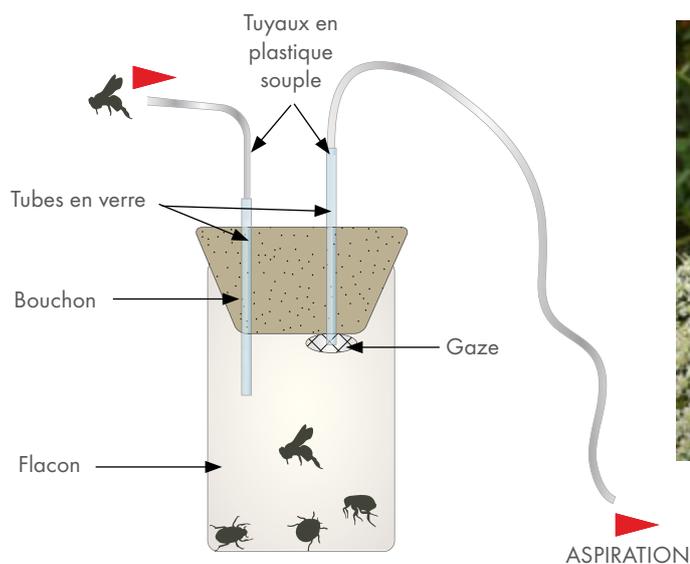


- **Écorçage** - Il s'agit de décoller des surfaces ou des volumes d'écorce d'arbres morts, sur différents types et parties de bois (niveau de dégradation, essences, troncs, branches ou souches). Les insectes sont alors prélevés à vue sur cette surface. C'est une méthode assez destructrice.

- **Brossage** - Avec des brosses à long manche, des troncs ou des chandelles sont frottés, et les insectes qui se laissent tomber sont récoltés sur un drap situé par terre.

- **Tamissage** - Un certain volume de sol ou de litière est trié avec un tamis.

Le recours à un aspirateur à bouche (figure 31), qui permet de capturer sans les abîmer les plus petites espèces, est souvent nécessaire pour nombre de ces méthodes.

Figure 31 Aspirateur à bouche

O. Delzons

3. Méthodes relatives

Dans le cas des méthodes relatives, le nombre d'individus ne peut pas être rapporté à un volume ou une surface donnée. Il ne peut être comparé qu'avec un autre nombre obtenu dans les mêmes conditions.

La chasse à vue en est une des principales composantes. Elle est souvent utilisée pour les études rapides, car elle est très simple à mettre en application. De plus, de bons résultats sont obtenus pour beaucoup de groupes recherchés, en particulier les espèces diurnes, de grande taille et volantes comme les libellules ou les papillons.

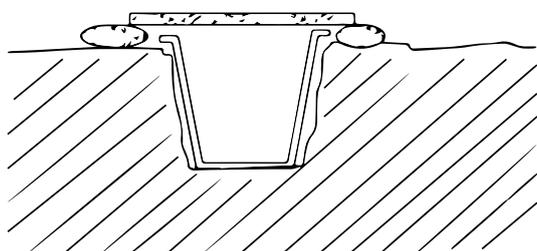
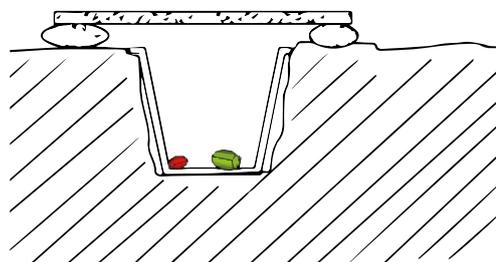
Certaines espèces, en particulier parmi les orthoptères*, peuvent être de plus détectées à l'oreille, par la reconnaissance des stridulations d'appel des mâles, ou à l'aide de matériel approprié (enregistreurs d'ultrasons par exemple).

Enfin, les techniques de piégeage sont aussi très utilisées en entomologie. Il en existe différents types.

a) Les pièges d'interception

Ils interceptent aléatoirement les insectes en mouvement. L'usage d'un liquide collecteur permet la mort rapide ; l'ajout d'un détergent mouillant (agent tensioactif) permet de diminuer la tension superficielle en surface du liquide et facilite l'immersion et la noyade. Les principaux pièges d'interception sont :

- disposés au sol - Il s'agit de pots-pièges ou pièges Barber (ou encore pitfall trap, figures 32 et 33), des contenants (type pot à confiture, boîte de conserves, gobelet) enfoncés dans le sol. Les insectes qui y tombent ne peuvent en sortir. N'importe quel contenant aux parois lisses (verre ou plastique) pourra faire l'affaire. Le système peut être recouvert avec un couvercle pour éviter le remplissage par l'eau de pluie et avec un grillage à maille assez large pour éviter la mortalité d'autres espèces non ciblées (micromammifères, amphibiens, reptiles).

Figure 32 Pot-piège à insectes inopérant (rebord au-dessus du niveau du sol)**Figure 33** Pot-piège efficace

- **disposés en aérien** - Cela peut être des pièges adhésifs (dispositif en plaque recouverte de glu destinée à retenir les insectes qui s'y collent ou la percutent), ou des pièges à vitres (figure 34). Ces pièges à vitres interceptent en vol des insectes particulièrement mobiles qui ont un vol lourd et présentent un géotactisme positif lors du choc avec un obstacle : ils se laissent tomber (coléoptères surtout). Un réceptacle est placé sous la surface d'interception ; plusieurs formes existent.

- **piège Malaise** (figure 35) - Il est constitué d'une structure en forme de tente en tissu finement maillé, dont les côtés sont ouverts, et avec un plan central vertical orientant les insectes vers un toit conique muni d'un dispositif de récolte. Il capture majoritairement des diptères* et des hyménoptères*. Son coût est d'environ 230 €, pour une durée de vie de 3 à 5 ans, les rayons ultraviolets rendant la toile cassante.

Figure 34

Pièges à vitres

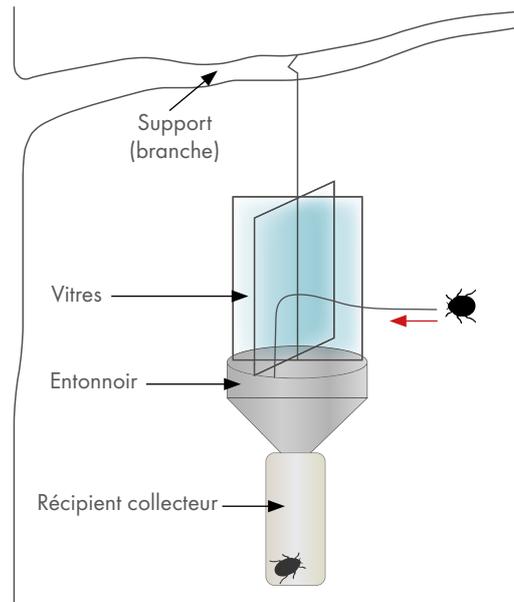
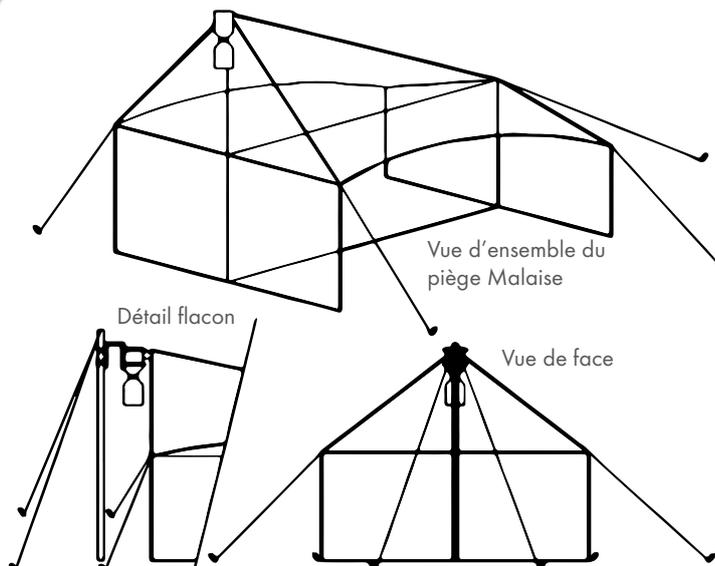


Figure 35

Piège Malaise



- **disposés dans l'eau** - Ce sont des nasses cylindriques formées de bouteilles en plastique dont le tiers supérieur aura été découpé et retourné vers l'intérieur de façon à former un entonnoir, ou réalisées à partir de grillage à maille fine avec

deux cônes à chaque extrémité. Ce type de nasse peut être éventuellement muni de flotteurs afin de permettre la respiration et d'éviter la mortalité de certains individus capturés.

b) Les pièges attractifs

Dans ces pièges, la capture est basée sur l'attraction active des individus, en réponse à des stimuli physiques ou chimiques. Les insectes reconnaissent ces pièges comme source alimentaire, conditions microclimatiques meilleures, présence d'un partenaire ou d'un habitat.

On distingue :

- **les abris artificiels** - Ce sont des leurres pour l'insecte lors de sa phase de recherche d'un abri, d'un site de nidification ou de ponte. Il permet d'échantillonner une espèce particulière (par exemple : tube scellé par de la cire d'abeille inséré dans une planche en bois, pour hyménoptères solitaires). Ce type d'abri peut également être adapté aux insectes aquatiques (substrats artificiels).

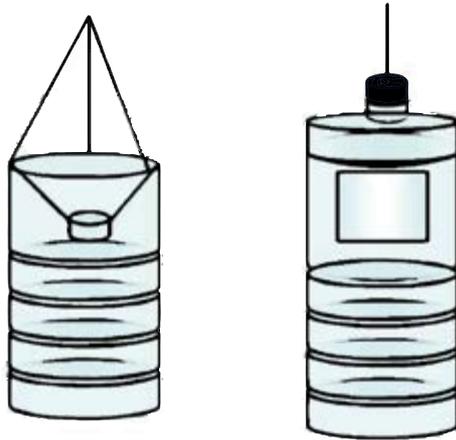


Figure 36

Exemples de pièges appâts

- **les pièges attractifs basés sur un stimulus visuel**

- **les pièges chromo-attractifs** - Ce sont des plateaux colorés, remplis d'eau et de produit mouillant, qui mimeraient des fleurs et attirent surtout des insectes héliophiles* et floricoles*. Leur efficacité dépend de la couleur (jaune, blanc, bleu) et de la taille du plateau, de l'ouverture du milieu, de la hauteur de placement du piège. D'autres types de piège, de forme verticale et de couleur sombre, sont utilisés pour la capture de xylophiles* ;

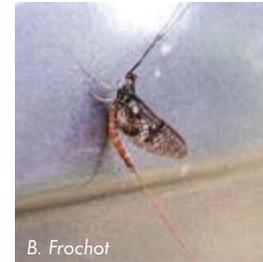
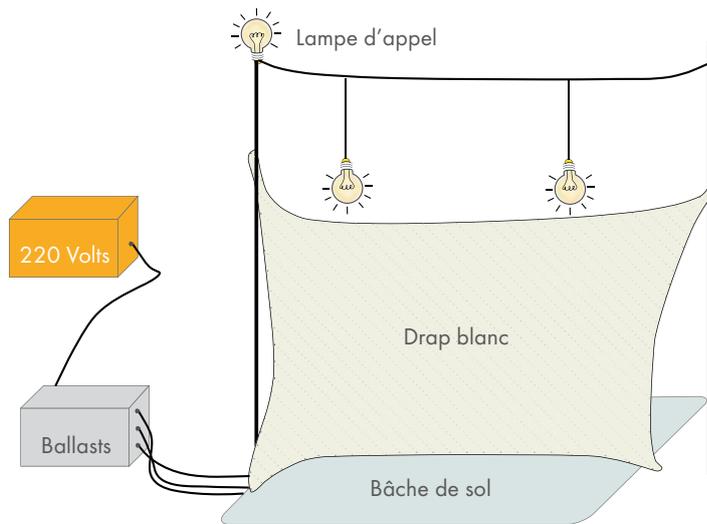
- **les pièges lumineux** - C'est une source lumineuse qui attire les insectes. Cette méthode est donc à utiliser de nuit, de préférence avec une luminosité lunaire faible. Les insectes sont attirés par certaines longueurs d'ondes lumineuses qui se situent entre 320 et 400 nm, mais la majorité des insectes sont surtout attirés par les longueurs

- **les pièges basés sur un stimulus chimique**

- **les pièges sexuels** - Ils sont basés sur la réponse des mâles à l'émission d'une phéromone par la femelle avant l'accouplement ;

- **les pièges appâtés** - Ils sont basés sur un stimulus d'ordre alimentaire. L'appât peut être constitué de diverses substances, selon les groupes ciblés. Il peut s'agir de cadavres en décomposition, de crevettes, d'abats, d'escargots écrasés pour les nécrophages ou les carnassiers, d'excréments (bouse ou crottin), de plantes mellifères ou nectarifères (pot de lavande par exemple), de substances fermentées (bière, vin), de substances sucrées (sucre, miel, fruits), de substances synthétiques ou naturelles pour les xylophages (éthanol, benzyl acétate, térébenthine, alpha-pinène). Ce type de piège, de faible coût, fabriqué par exemple à partir d'une bouteille en plastique, et très efficace pour de nombreux groupes d'insectes, est largement utilisé, notamment en forêt (figure 36).

d'ondes qui se situent entre 350 et 370 nm, ce qui correspond à des rayons UV (ondes courtes). Ces longueurs d'ondes lumineuses sont obtenues avec des néons de type blb (black-light-blue/lumière noire bleutée) ou bl (black-light/lumière noire) ou d'autres types de lampe comme une lampe au mercure (lumière blanche très vive) par une lampe d'appel située en hauteur qui émet des fréquences lumineuses de 350 à 540 nm. Un drap blanc tendu réceptionne les insectes, attirés par une lampe d'appel. Plusieurs configurations sont possibles, comme par exemple une lampe d'appel de 400 watts + deux lampes de 400 watts au niveau du drap, ou une lampe d'appel de 400 watts + deux lampes de 250 watts au niveau du drap, ou pas de lampe d'appel mais deux lampes de 400 watts au niveau du drap ou encore pas de lampe d'appel mais une lampe au niveau du drap (figure 37).

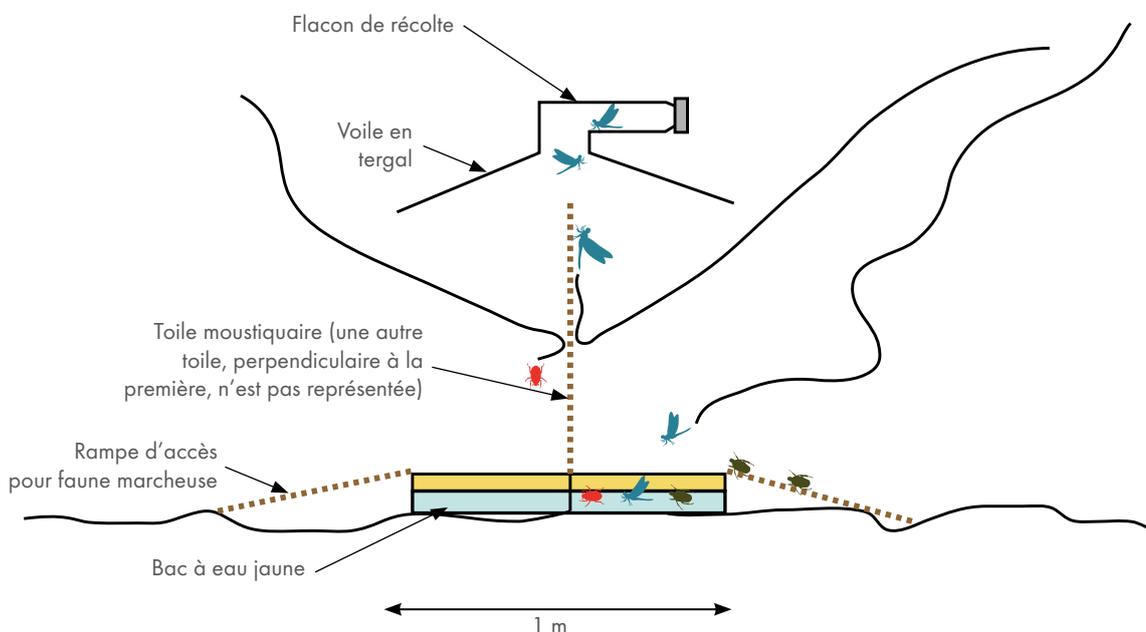
Figure 37 Schéma d'un piège lumineux

B. Frochet

Éphémère

Pour terminer, signalons l'utilisation de pièges composites, combinant diverses techniques de piégeage, et permettant de capturer le spectre le plus large possible. L'efficacité peut être augmentée grâce à la mise en œuvre d'une complémentarité et d'une synergie des principes.

Pour exemple, le Piège entomologique composite (PEC, ROBERT, 1992) (figure 38) peut échantillonner une très grande variété d'insectes, parmi les insectes à géotactisme positif et négatif, les insectes marcheurs et les insectes floricoles.

Figure 38 Piège entomologique composite, schéma de principe (d'après ROBERT, 1992).

c) Les pièges à émergence

Les insectes présentent des stades successifs, d'abord œufs, puis larves (plusieurs stades et éventuellement un stade nymphal), et une phase adulte ou imaginale, qui succède à la larve après l'émergence (mue imaginale). Beaucoup de groupes sont connus sous leur forme adulte,

mais beaucoup moins sous leur forme larvaire. De plus, l'identification des espèces repose souvent sur l'analyse des pièces génitales matures. Les larves, qui pourtant représentent une proportion considérable du cycle de vie des insectes, ne sont souvent pas reconnaissables au niveau de l'espèce. La capture d'insectes adultes est donc

souvent préférable, voire absolument nécessaire, pour permettre de différencier les espèces. L'élevage de larves permet de récolter des adultes. Par exemple, une pièce de bois mort enveloppée hermétiquement peut être stockée (voir [fiche 17] figure 39). Seul un faible interstice laisse passer la lumière. Les insectes, une fois adultes (ce qui prend des mois, voire des années), sont attirés par la lumière et sortent par cet orifice pour tomber dans un récipient collecteur placé à cet effet. Ce genre de piège, utile notamment pour les espèces vivant dans des milieux difficiles d'accès (bois mort, milieu aquatique, cadavres, etc.), nécessite une logistique importante et ne fournit des résultats exploitables que sur le long terme.

Si l'ensemble du substrat est placé dans le piège à émergence (un champignon, par exemple), les résultats obtenus peuvent être considérés comme absolus. La taille et les caractéristiques des milieux échantillonnés rendent souvent nécessaire une approche relative (une branche morte enveloppée *in situ* sur un arbre, des pièges de surface restreinte en milieu aquatique, etc.).

Choix et mise en œuvre des méthodes

Le choix de la méthode ou des méthodes utilisées est étroitement lié aux groupes d'insectes

étudiés : les études se focalisent généralement sur un (ou plusieurs) groupe(s) d'insectes, au sens systématique (libellules, par exemple) ou au sens écologique (insectes du bois mort, par exemple).

Les conditions météorologiques ont une forte influence sur l'activité des insectes. Il est donc nécessaire de tenir compte de ce paramètre lors des sorties sur le terrain. De plus, beaucoup d'espèces ne sont pas actives toute l'année, et les observations portent souvent prioritairement sur le stade adulte (insectes volants), qui ne sont parfois visibles que quelques semaines par an.

Il est donc important d'ajuster les campagnes d'échantillonnage en fonction de ces aspects et des variations observables localement ou d'une année sur l'autre. À ce titre, pour réduire le biais induit par les variations annuelles, qui peuvent être très fortes, il est souvent nécessaire de reproduire le protocole sur plusieurs années (3 à 5 ans généralement) afin de se rapprocher d'une vision la plus exhaustive possible du groupe étudié. Le nombre d'années d'études successives pour prétendre à l'exhaustivité est aussi variable en fonction du protocole et de son efficacité : 8 à 10 ans pour la chasse à vue, 5 à 8 ans pour les pièges colorés, 3 ans pour des plateaux colorés couplés avec des tentes Malaise.

Tableau 17

Caractéristiques d'application des méthodes d'inventaire entomologique

Méthodes	Inventaire entomologique					
	Méthodes absolues (Berlèse, nasse d'émergence ...)	Méthodes semi-relatives (fauchage, battage, ...)	Chasse à vue	Pièges d'interception	Pièges attractifs	Pièges composites
Domaines d'application	Litière et microhabitats isolables	Tous les milieux	Tous les milieux	Tous les milieux	Tous les milieux	Tous les milieux
Limites	Procédés lourds Temps d'attente parfois en années	Périodes de prospection Détermination des juvéniles difficile Météo	Périodes de prospection Météo	Sélectifs vis-à-vis d'un groupe fonctionnel, +/- selon les pièges	Sélectifs vis-à-vis d'un groupe fonctionnel, +/- selon les pièges	Sélectifs vis-à-vis d'un groupe fonctionnel, +/- selon les pièges
Compétences requises	+++ en entomologie	+++ en entomologie	++ en entomologie	+++ en entomologie	+++ en entomologie	+++ en entomologie
Coûts	+++	+ et selon le nombre de campagnes	+ et selon le nombre de campagnes	+++ et selon le nombre de campagnes	+++ et selon le nombre de campagnes	+++ et selon le nombre de campagnes

BIBLIOGRAPHIE

- BOUGET C. et al. - *Inventaire entomologique en forêt - Manuel INVENTFOR*, 2007.
- DUPONT P., LUMARET J.P. - *Intégration des invertébrés continentaux dans la gestion et la conservation des espaces naturels. Analyse bibliographique et propositions.* - RNF, Ministère de l'Environnement, 1997.
- GRANT I.F., TINGLE, C.C.D. (eds) - *Méthodes de suivi écologique pour évaluer les effets des pesticides dans les tropiques.* - Chatham, R-U : Natural Resources Institute, 2002.
- GROOTAERT P. et al. - « Chapter 15 - Sampling insects : general techniques, strategies and remarks. » In *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring*, sous la direction de Eymann J. et al. - *Abc Taxa*, 2010 - 8(2), p. 377-399.
- KROGMANN L., HOLSTEIN J. - « Chapter 18 - Preserving and specimen handling : Insects and other Invertebrates. » In *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring*, sous la direction de Eymann J. et al. - *Abc Taxa*, 2010 - 8(2), p. 463-481.
- MAURIN H. et al. - *Inventaire et Cartographie des invertébrés comme contribution à la gestion des milieux naturels français. Actes du séminaire tenu à Limoges les 17-19 novembre 1995.* - Paris : Patrimoines naturels, 1996 - 25.
- MORA F. - *Contribution au suivi des variations spatio-temporelles de la fraction circulante des peuplements d'invertébrés épigés en système forestier caducifolié européen (Massif de Chaux, France, Doubs et Jura).* - Besançon : Université de Franche-Comté, 2002.
- ROBERT J.C. - *Le Piège Entomologique Composite (PEC) : une technique d'échantillonnage à large spectre de l'entomofaune terrestre circulante.* - *Bulletin de la société entomologique suisse*, 1992 - 65, p. 395-411.
- ROBERT J.C., DOMMANGET J.L., MAURIN H. - *Inventaire et Cartographie des invertébrés comme contribution à la gestion des milieux naturels français. Actes du séminaire tenu à Besançon les 8, 9 et 10 juillet 1999.* Paris : Patrimoines naturels, 2001 - 46.
- ROBERT J.Y. - *Evaluation of a wide range sampling technique for the terrestrial entomofauna : the Piège Entomologique Composite (PEC).* - *Annales Scientifiques de l'Université de Franche-Comté Besançon Biologie Écologie*, 1996 - 5(4), p. 13-28.
- ROTH M. - *Comparaison de méthodes de capture en écologie entomologique.* - *Rev. Pathologie Végétale et Entomologie Agricole de France*, 1963 - 42, p. 177-197.
- ROTH M., COUTURIER G. - *Les plateaux colorés en écologie.* - *Annales Soc. Entomologique de France (NS)*, 1966 - 11, p. 361-370.
- ROTH M., GUTIERREZ J., COUTURIER G. - *Comparaison de divers types de pièges gluants.* - *Annales Soc. Entomologique de France (NS)*, 1968 - 4, p. 81-90.
- SOUTHWOOD T.R.E. - *Ecological methods with particular reference to the study of insect populations.* London : Chapman & Hall, 1978.
- STEINER A., HAUSER C. - « Chapter 16 - Light trap for insects. » In *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring*, sous la direction de Eymann J. et al. - *Abc Taxa*, 2010 - 8(2), p. 400-422.
- VAN ACHTERBERG C., SHAW M.R., GROOTAERT P. - « Chapter 17 - Flight interception traps for arthropods. » In *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring*, sous la direction de Eymann J. et al. - *Abc Taxa*, 2010 - 8(2), p. 423-462.



14

FICHE 14

Les odonates (libellules)

INVERTÉBRÉS / INSECTES



R. Lecomte (Encem)

LES ODONATES

GÉNÉRALITÉS

Les odonates, plus connus sous le nom de libellules, figurent parmi les insectes les plus fréquemment étudiés, en raison de leur valeur patrimoniale et de leur place dans les écosystèmes*, couplées avec un stade aérien voyant et actif, dont les biologies et les écologies sont bien connues.

Nous nous intéresserons dans cette fiche à la partie terrestre de leur cycle, à l'exclusion de la phase larvaire qui est aquatique. Les larves de libellules figurent parmi les invertébrés pris en compte lors de calculs d'indices de qualité des milieux aquatiques tels que l'IBGN [fiche 33], l'IBEM [fiche 36], etc. Elles sont également traitées dans la fiche concernant les macroinvertébrés aquatiques [fiche 12].

Sur la centaine d'espèces d'odonates contactées en France, certaines bénéficient de mesures réglementaires. Elles sont rappelées dans le tableau ci-dessous.

Les odonates constituent une part non négligeable des équilibres trophiques. Comme prédateurs, ils régulent une partie de l'entomofaune des zones humides. Comme proies, ils contribuent au maintien et au développement d'autres espèces animales. Ils sont, dans ce sens, de bons indicateurs et leur présence est un indice sûr de la richesse faunistique des eaux douces. D'après D'AGUILAR ET DOMMANGET (1998), bien que beaucoup d'entre elles soient

opportunistes quant à la nature et aux conditions de l'habitat colonisé, les libellules doivent être tenues pour de bons témoins biologiques, notamment dans les milieux lenticques* (eaux stagnantes, comme les mares et étangs) où l'évolution qualitative et quantitative de leur peuplement doit être pris en considération.

De plus, les libellules sont pratiques à utiliser en bio-indication car :

- leur biologie et leur biogéographie sont bien connues ;
- leur identification est facile au regard de celle des autres invertébrés aquatiques ;
- leur prise en compte entraîne celle des autres groupes aux exigences écologiques similaires ou proches ;
- leurs exigences, différentes de celles des vertébrés, donnent des informations complémentaires aux résultats amenés par d'autres méthodes ;
- elles peuvent mettre en évidence l'intérêt de certains microhabitats difficilement évalués (suintements, gouilles des tourbières à sphaignes).

Cependant, l'apport d'informations sur l'autochtonie des espèces par l'étude des imagos d'odonates est à relativiser. En effet, certaines espèces à forte capacité de déplacement peuvent simplement être observées en passage sur le site d'étude sans que ces dernières l'utilisent pour se reproduire ou même chasser. Ce type d'observation est donc à prendre avec précaution et il sera important de les compléter par des relevés relatifs au comportement des individus pouvant préciser l'information apportée : observation de pontes, accouplement, comportement territorial... La mise en place d'inventaires des larves ou de récoltes d'exuvies permettra de compléter l'information en assurant la reproduction sur le site

des espèces identifiées [fiche 12 macroinvertébrés aquatiques].



P. Gourdain (MNHN/SPN)

Agrion de Mercure *Coenagrion mercuriale*

MÉTHODES

La méthode des imagos* (adultes) est la plus simple des méthodes. La capture se fait à l'aide d'un filet à papillons (30 cm de diamètre, manche de 130 cm, avec une poche longue en tissu léger et solide). Certaines espèces peuvent éventuellement être reconnues à vue, ou avec des jumelles, ou encore sur photos. Cependant, il est souvent nécessaire de manipuler les insectes pour apprécier certains détails (genitalia*, motifs de l'abdomen, cellules des ailes), en recourant au besoin à une loupe, ce qui justifie pleinement l'utilisation de filets.

Les campagnes de chasse seront réparties en trois (ou deux) passages, idéalement en mai et en août/septembre.

La recherche d'imagos pourra être complétée par une recherche et une récolte d'exuvies à travers soit des prospections systématiques de l'ensemble des berges des zones en eau (mares, cours d'eau, plans d'eau), soit un échantillonnage de ces dernières avec parcours de transects de longueur ou de durée fixe, ce qui permettra de

réaliser un suivi standardisé d'année en année. Dans les deux cas, lorsque cela est possible, une prospection à partir de l'eau (en embarcation si possible) permettra un meilleur repérage des exuvies tout en limitant le piétinement des berges.

Des pièges à émergence pourront également être posés pour simplifier les recherches d'exuvies. Ces pièges peuvent toutefois être assez sélectifs sur les espèces inventoriées selon leur positionnement. Ils peuvent par exemple être constitués d'un morceau de grillage fixé sur un piquet de façon à être en partie émergé et en partie immergé et placé dans l'eau à proximité de la berge. Ce grillage constitue alors un support sur lequel les larves d'odonates se fixent au moment de l'émergence et laissent leur exuvie après avoir accompli leur transformation. Il suffit ensuite de récupérer l'ensemble des exuvies présentes sur le piège. Pour plus de renseignements sur ce type de pièges, la fiche consacrée aux macroinvertébrés aquatiques [fiche 12] peut être consultée.



O. Delzons

Exuvie



O. Delzons

Sympetrum sanguineum



O. Delzons

Lestes dyras

Tableau 18

Périodicité des relevés des odonates

	Inventaire	Suivi	Période	Conditions
Durée minimale	3 ans au minimum	Tous les ans		Années consécutives
Habitats lenticques* (eaux stagnantes)	Nombre de visites par an			Habitat larvaire
Imagos	6	1 ou 2	Mai à octobre	10 h 30 - 15 h 30, temps ensoleillé, vent faible, températures > 18 °C & < 30 °C sous abri
Exuvies Émergences	2 ou 3	1 ou 2	Mai à juillet	8 h 30 - 12 h, temps non pluvieux, vent faible
Larves	0 ou 1	0 ou 1	Toute l'année	Le matin de préférence afin de permettre rapidement la mise en élevage des larves
Habitats lotiques* (eaux courantes)	Nombre de visites par an			Habitat larvaire
Imagos	4	1 ou 2	Juin à septembre	10 h 30 - 15 h 30, temps ensoleillé, vent faible, températures > 18 °C & < 30 °C sous abri
Exuvies Émergences	1 ou 2	1 ou 2	Mai à juillet	8 h 30 - 12 h, temps non pluvieux, vent faible
Larves	0 ou 1	0 ou 1	Toute l'année	Le matin de préférence, afin de permettre rapidement la mise en élevage des larves
Environnement terrestre du site étudié	Nombre de visites par an			Habitats terrestres (zones d'alimentation, d'abri, de repos, espèces crépusculaires, etc.)
Imagos	4	0	Mai à décembre	7 h à 22 h, temps chaud et ensoleillé

D'après www.libellules.org : http://www.libellules.org/fra/fra_index.php. Les informations et périodes sont données à titre indicatif et doivent être adaptées selon les types d'études et les caractéristiques du milieu étudié (altitude, situation climatique, etc.).

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude des odonates.

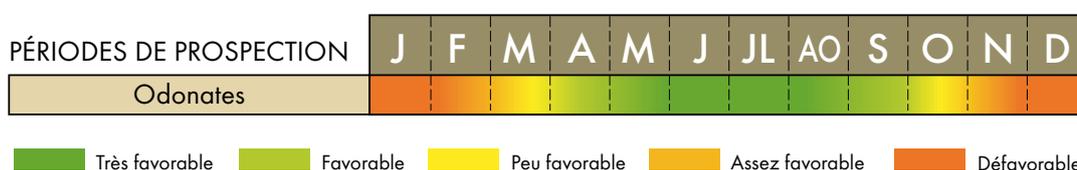


Tableau 19 Caractéristiques d'application des méthodes d'inventaire des odonates

Méthodes	Inventaire des odonates (larves exclues)		
	Chasse à vue	Recherche d'exuvies	Pièges à émergence
Domaines d'application	Tous les milieux	Zones humides	Zones humides
Limites	Météo Choix des périodes de passage Pas de preuve certaine de reproduction sur le site	Recherche longue et fastidieuse Détermination parfois seulement au genre	Choix des sites Protocole lourd
Compétences requises	++ en entomologie	+++ en entomologie	++ en entomologie
Coûts	+ et selon nombre de passages	++ (travail en laboratoire)	+++

BIBLIOGRAPHIE

D'AGUILAR J., DOMMANGET J.L. - *Guide des libellules d'Europe et d'Afrique du nord*. - Éd. Delachaux et Niestlé, 1998 - Les guides du naturaliste.

DOMMANGET J.L. et al. - *Document préparatoire à une Liste Rouge des Odonates en France métropolitaine complétée par la liste des espèces à suivi prioritaire*. - Société française d'odonatologie (SFO), 2008-2012 - Rapport non publié.

GRAND D., BOUDOT J.P. - *Les libellules de France, Belgique et Luxembourg*. - Mèze : Biotope, 2006 - Collection Parthénope.

JOLIVET S. - *Intérêt de l'échantillonnage des exuvies pour l'étude et la gestion conservatoire des Odonates. Inventaire et cartographie des invertébrés comme contribution à la gestion des milieux naturels français. Actes du séminaire tenu à Besançon les 8, 9 et 10 juillet 1999*. - Paris : Patrimoines naturels, 1999 - p. 217-218.

PONT B., FATON J.M., PISSAVIN S. - *Protocole de suivi à long terme des peuplements de macrophytes aquatiques et d'odonates comme descripteurs de fonctionnement des hydrosystèmes. Programme test sur 17 Réserves Naturelles ou Réserves Naturelles Volontaires de France*. - RNF, 1999.



Sympetrum fonscolombii

O. Delzons



15

FICHE 15

Les orthoptères
(crickets, sauterelles)

INVERTÉBRÉS / INSECTES



R. Lecomte (Encem)

LES ORTHOPTÈRES

GÉNÉRALITÉS

Les orthoptères* (sauterelles, criquets, grillons) sont assez peu étudiés lors des études écologiques. Cet ordre est en effet encore relativement mal connu, au niveau de son écologie et de sa biogéographie, et il renferme des complexes d'espèces dont la systématique demande à être approfondie.

Peu d'espèces sont affectées d'un statut juridique ; une seule espèce (*Saga pedo*, la magicienne dentelée) est inscrite en annexe IV de la directive Habitats et sur la liste nationale des espèces protégées, bien que cette espèce méditerranéenne ne soit pas fortement menacée. Deux sous-espèces d'une autre espèce, endémiques du sud-est de la France, bénéficient elles-aussi d'une protection nationale (*Prionotropis hystrix* ssp. *rhodanica*, le criquet des coussouls ou criquet rhodanien, et *Prionotropis hystrix* ssp. *azami*, le criquet des Grands-Plans ou criquet hérisson).

Pourtant, en France, une liste rouge publiée récemment (SARDET & DÉFAUT, 2004) considère que 37 % des 216 espèces et sous-espèces françaises méritent un état de veille. Parmi celles-ci, 10 espèces sont proches de l'extinction et doivent faire l'objet d'actions concrètes à court terme, 23 espèces sont fortement menacées et 46

espèces paraissent menacées et sont à surveiller.

La faune orthoptérique française apparaît donc particulièrement vulnérable et mériterait une plus grande prise en compte dans les démarches d'inventaires et de gestion d'espaces naturels.

De plus, ce sont de bons indicateurs de qualité, en particulier des milieux ouverts, par exemple en tant que ressources trophiques pour les oiseaux comme l'outarde canepetière (GEORGES *et al.* 1999).



O. Delzons

MÉTHODES

L'inventaire des orthoptères repose sur la détection à la fois visuelle et auditive des espèces. Les milieux sont prospectés **à vue, ou à l'aide d'un filet-fauchoir**, si possible lors des heures chaudes et ensoleillées de la journée. En cas de difficultés d'identification, les individus peuvent être placés dans un tube à essai pour être identifiés, puis seront relâchés ou emmenés au laboratoire pour une détermination définitive. Sauf dans le cas d'effectifs extrêmement faibles, il est préférable de recourir à deux comptages distincts : un comptage pour les espèces de dimension moyenne à forte (cela concerne la grande majorité des espèces) et un autre comptage pour les espèces de petite taille (comme *Pezotettix giornae*) ou de mœurs discrètes (la plupart des *Gryllidae*). Sauf exception, on ne compte pas les juvéniles, qui restent dans la plupart des cas indéterminables.

Les milieux favorables pourront être prospectés aléatoirement, par réalisation de prélèvements et d'écoutes (VOISIN, 1980) ou sous forme de transects de longueur (Indice linéaire d'abondance, VOISIN, 1986) ou de durée fixe (Indice horaire d'abondance, DÉFAUT, 1978) permettant d'estimer la composition spécifique du peuplement et l'abondance des différentes espèces. En complément, le battage de la végétation arborée ou arbustive au-dessus d'un parapluie japonais [figure 30] peut permettre de compléter le nombre d'espèces contactées.

Des écoutes diurnes, crépusculaires et nocturnes complètent et confirment ces données. De nombreuses espèces diurnes, difficilement séparables par les caractères morphologiques, peuvent être identifiées d'emblée sur le terrain grâce à l'écoute des stridulations. L'emploi d'un détecteur d'ultrasons (voir tableau ci-après), combiné à un enregist-

treur muni d'une parabole, permet de déceler les espèces discrètes, et celles qui émettent à la limite de l'audible, ou dans le spectre ultrasonore.

La période favorable pour l'inventaire des orthoptères s'étend du milieu du printemps (espèces précoces, observation des formes juvéniles, espèces hivernantes), jusqu'au milieu de l'automne (espèces frondicoles* à phénologie* tardive), avec un pic pendant les mois les plus chauds (juillet à septembre).

D'autres méthodes existent pour estimer les densités, comme l'emploi de **biocénomètres**. Une enceinte de 1 à 3 m² est lancée au sol, sur un substrat plat et homogène, et les orthoptères ainsi piégés sont comptés. Cette méthode est largement utilisée pour ce type d'échantillonnage (GUÉGUEN, 1989 ; TATINI *et al.* 2000) car elle semble être celle qui permet de capturer le plus grand nombre d'individus par unité de surface, et donc autorise la meilleure approche de la réalité (ONSAGER, 1977). Mais cette méthode se révèle souvent difficile à mettre en œuvre en raison de l'obstacle que constitue la végétation herbacée, haute ou arbustive.



Acrida sp.

O. Delzons



P. Gourdain (MNHN/SPN)

La grande sauterelle verte
Tettigonia viridissima

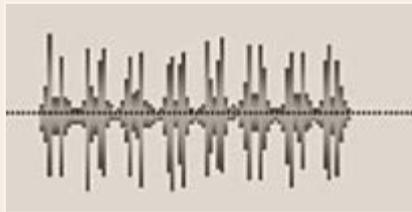
Utilisation de récepteurs ultrasons dans l'étude des orthoptères

Conçus à l'origine pour « convertir » les cris ultrasonores des chauves-souris, les détecteurs d'ultrasons peuvent aussi servir à détecter les orthoptères.

L'enregistrement des stridulations, puis leur analyse, via un logiciel, permet un recensement beaucoup plus complet, en révélant la présence des espèces les plus discrètes, nocturnes, ou noyées dans le concert des autres espèces, tout en augmentant grandement l'efficacité d'échantillonnage du prospecteur.

Cette méthode assez récente se répand de plus en plus lors des prospections.

Sonogramme de stridulations de grande sauterelle verte (*Tettigonia viridissima*) ; la structure en double accent est typique.



Chez les sauterelles, c'est le frottement des tegmina (élytres) les uns contre les autres qui produit la stridulation, de fréquence élevée (15-40 KHz), difficilement audible

Sonogramme de stridulations du criquet des pâtures (*Chorthippus parallelus*), forme macroptère, mâle.



Les mouvements du fémur postérieur contre le tegmen (élytre, aile antérieure sclérifiée) produisent l'émission sonore.

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude des orthoptères.

PÉRIODES DE PROSPECTION	J	F	M	A	M	J	JL	AO	S	O	N	D
Orthoptères	Orange	Orange	Orange	Jaune	Vert clair	Vert	Vert	Vert	Vert	Vert	Vert	Orange

■ Très favorable
 ■ Favorable
 ■ Peu favorable
 ■ Assez favorable
 ■ Défavorable

Tableau 20

Caractéristiques d'application des méthodes d'inventaire des orthoptères

Méthodes	Inventaire des orthoptères		
	Chasse à vue et auditive	Récepteur à ultrasons	Biocénomètre
Domaines d'application	Milieus ouverts* et semi-ouverts	Tous les milieux	Milieus ouverts
Limites	Espèces discrètes et nocturnes	Reconnaissance de certaines espèces impossible Limité aux espèces émettant des ultrasons	Végétation trop haute
Compétences requises	+++	+++	+++
Coûts	+	+++ à investissement + ensuite	++

BIBLIOGRAPHIE

BOITIER E. - *Proposition d'une méthode d'échantillonnage nocturne quantitative des Ensifères*. - Bulletin de Miramella, 2004. - 7, p. 8-16 - la Saga.

DÉFAUT B. - *Réflexion méthodologique sur l'étude écologique et biocénotique des Orthoptères*. - Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse, 1978. - 114, p. 7-16.

GEORGES A., GUÉGUEN A., STEINE C. - *Coléoptères carabiques et Orthoptères des jachères en tant que ressources potentielles de l'Outarde canepetière (Tetrax tetrax). Inventaire et cartographie des Invertébrés comme contribution à la gestion des milieux naturels français. Actes du séminaire tenu à Besançon les 8, 9 et 10 juillet 1999*. - Paris : Patrimoines naturels, 1999 - p. 209-214.

GUÉGUEN A. - « *Cartographie et qualités bio-indicatrices des Orthoptères* » In *Utilisation des inventaires d'Invertébrés pour l'identification et la surveillance d'espaces de grand intérêt faunistique*. Sous la direction de De Beaufort F., Maurin H. - p. 125-138.

GRIBOVAL A. - *Recherche sur le terrain et identification sonore des Orthoptères*. - Insectes, 2005 - 135(2), p.19-22.

JAULIN S. - *Inventaire des Orthoptères des estives du Massif des Albères (66). Inventaire et orientations de gestion*. - OPIE LR et ONF, 2004.

ONSAGER J.A. - *Comparison of five methods for estimating density of rangeland grasshoppers*. - Journal of economical Entomology, 1977 - 70(2), p. 187-190.

PUISSANT S. - *Les orthoptères comme outil d'aide à la gestion des sites de reproduction du Grand Tétrás. Première contribution. Rapport préliminaire*. - OPIE LR, ONF et ONCFS, 2003.

SARDET E., DÉFAUT B. - *Les Orthoptères menacés en France. Liste rouge nationale et listes rouges par domaines biogéographiques*. - Matériaux orthoptériques et entomocénétiques, 2004 - 9, p. 125-137.

TATIN L., DUTOIT T., FEH C. - *Impact du pâturage par les chevaux de Przewalski (Equus przewalskii) sur les populations d'Orthoptères du causse Méjean (Lozère, France)*. - Revue d'Écologie (La Terre et la Vie), 2000 - 55, p. 241-261.

VOISIN J.F. - *Réflexions à propos d'une méthode simple d'échantillonnage des peuplements d'Orthoptères en milieu ouvert*. - Acrida, 1980 - 9, p. 159-170.

VOISIN J.F. - *Une méthode simple pour caractériser l'abondance des Orthoptères en milieu ouvert*. - L'Entomologiste, 1986 - 42(2), p. 113-119.



16

FICHE 16

Les coléoptères carabidés

INVERTÉBRÉS / INSECTES



B. Lavoué

COLÉOPTÈRES CARABIDÉS

GÉNÉRALITÉS

Ces insectes présentent une diversité taxonomique et une abondance locale assez importantes : plus de 1000 espèces habitent la France (1039 d'après l'INPN, 2009), et un massif comme la forêt de Fontainebleau en héberge 312 espèces.

Ils figurent peu dans les études écologiques, notamment en raison de la faible attention dont ils ont fait l'objet de la part des législateurs avec, parmi les espèces protégées à l'échelle nationale, trois genres dont la répartition n'excède pas les Alpes et les Pyrénées (*Aphaenops*, *Trichaphaenops* et *Hydraphaenops*) et quelques espèces supplémentaires, dont la plupart ont une répartition très localisée (*Carabus variolosus*, *Carabus auratus* ssp. *honoratii*, *Chrysocarabus auronitens* ssp. *cupreonitens*, *Chrysocarabus auronitens* ssp. *subfestivus*, *Chrysocarabus solieri*).

Par contre, les carabidés sont largement utilisés au niveau mondial comme indicateurs de réponses, notamment à la coupe et à la gestion forestière (BOUGET, 2007) ou encore comme indicateurs de l'hétérogénéité et de la structure du paysage (MARTIN *et al.*, 2001). Ils présentent en effet certains avantages en tant que taxon bio-indicateur :

- des écologies et une taxonomie relativement bien connues ;
- un degré variable de spécialisation vis-à-vis de l'habitat, des généralistes eurytopes* aux spécialistes sténotopes*, leurs exigences écologiques sont souvent liées aux besoins particuliers de leurs larves ;
- une réponse corrélée, dans une certaine mesure, à celle d'autres groupes ;
- un rôle fonctionnel dans les écosystèmes*, en particulier forestiers (prédateurs de petits invertébrés et proies de vertébrés, et donc représentatifs des maillons en amont et en aval du réseau).

Les carabidés sont parfois utilisés en parallèle d'autres groupes, par exemple avec les araignées (DERRON & BLANDENIER 2006), comme témoins de la colonisation de milieux « naturalisés » (prairies et haies gagnées sur des terres agricoles), ou pour estimer les effets des facteurs abiotiques (PÉTILLON *et al.*, 2008), ou encore en parallèle des syrphidés et des araignées pour étudier la valeur biologique des forêts alluviales pour GERBER & GANDER (1998). Selon eux, ces trois groupes fournissent des évaluations pas toujours concordantes, permettant de traiter différents aspects d'un milieu.

Leurs facultés de déplacement les rendent utiles pour étudier la connectivité des écosystèmes, par exemple pour AVIRON *et al.* (2005), qui les ont utilisés pour quantifier les flux d'individus dans des écotones.

MÉTHODES

Les carabes* peuvent **se capturer à vue**, soit en attrapant des individus se déplaçant à terre, soit en retournant des abris (souches, pierres) ou de la litière. Cependant cette approche ne peut donner qu'un faible aperçu des espèces présentes, et reste difficile à standardiser. Elle peut par ailleurs se révéler destructrice (retournements de talus, destructions de chablis...).

La forte piègeabilité des carabidés rend le recours au piège presque systématique.

Le pot-piège [fiche 13] est relativement efficace pour les carabidés épigés, mais les espèces à dispersion active en vol et peu marcheuses sont peu capturées. De nombreuses espèces, et notamment les plus petites, et les espèces de milieux humides (où le pot-piège est déconseillé) sont attirées par la lumière. L'utilisation combinée de pots-pièges, de pièges d'interception à vitres et de pièges lumineux est donc conseillée.

Pour les pièges, et en particulier les pots-pièges, le choix du site est important. Les pentes et les cuvettes

sont à proscrire, en raison du risque d'inondation par ruissellement. La proximité avec des microhabitats importants (souches) augmentera les probabilités de capture.

L'utilisation de pièges, appâtés ou non, peut influencer les résultats des captures : le genre *Carabus* peut être attiré par des appâts, qui auront, au contraire, un effet répulsif sur d'autres espèces.

Les périodes de piégeage doivent être définies avec soin. Beaucoup d'espèces ont un cycle avec une diapause estivale et une diapause hivernale, et il existe des reproducteurs printaniers, comme des reproducteurs automnaux. Il est donc possible soit de piéger en continu d'avril à octobre, ce qui permet d'inclure la période d'activité d'un maximum d'espèces, mais demande un effort d'échantillonnage soutenu, soit de piéger de manière discontinue et ciblée (campagnes de 10 + 10 jours par exemple, au printemps puis en automne, ou entre avril et juin).

Tableau 21 Protocole d'échantillonnage des carabes en forêt, d'après BOUGET (2007)

	Chasse à vue et auditive	Récepteur à ultrasons
Nombre de sites	(sans objet)	5 à 10 par modalité
Nombre de pièges	6 par site	2 à 5 en fonction du nombre de sites
Distance inter-pièges	20 m	20 m
Période	Mars à octobre	Intensif : mars à octobre Extensif : avril-mai et septembre
Périodicité des relevés	15 à 30 jours	15 à 30 jours



B. Lavoué

Zabrus tenebrioides



O. Delzons

Carabus auronitens

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude des coléoptères carabidés.

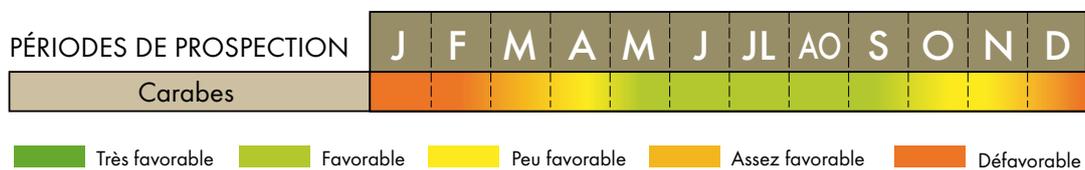


Tableau 22 Caractéristiques d'application de l'inventaire des carabidés

Méthodes	Inventaire des carabidés			
	Chasse à vue	Pots-pièges	Pièges à vitres	Pots-pièges + pièges à vitres
Domaines d'application	Tous les milieux	Tous les milieux	Tous les milieux	Tous les milieux
Limites	Mauvaise image du peuplement	Seulement les espèces épigées	Seulement les espèces à dispersion au vol	Périodes de piégeage
Compétences requises	++ en entomologie	++ en entomologie	++ en entomologie	++ en entomologie
Coûts	+	++ et selon fréquence des relevés	++ et selon fréquence des relevés	++ et selon fréquence des relevés

BIBLIOGRAPHIE

- AVIRON S. *et al.* - *Carabid assemblages in agricultural landscapes : impacts of habitat features, landscape context at different spatial scales and farming intensity.* - Agriculture, Ecosystem and Environnement, 2005 - 108, p. 205-217.
- BOUGET C. - *Inventaire entomologique en forêt.* - Manuel INVENTFOR, 2007 - p. 39-43.
- DERRON J.O., BLANDENIER G. - *Évolution des peuplements de carabes et d'araignées dans cinq types d'habitats du domaine de Changins de 1994 à 2001.* - Revue suisse agricole, 2006 - 38(3), p. 141-149.
- GERBER E., GANDER A. - *Étude des forêts alluviales de la Grande Caricaie à l'aide des invertébrés : test de méthodes d'échantillonnage et de bioindication.* Grande Caricaie - Suivi scientifique. - 1998.
- MARTIN M. *et al.* - *Studying boundaries effects on animal movement in heterogeneous landscapes : the case of *Abax ater* (Coleoptera: carabidae) in hedgerow network landscapes.* - C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie / Life sciences, 2001 - 324, p. 1029-1035.
- PÉTILLON J. *et al.* - *Influence of abiotic factors on spider and ground beetle communities in different salt marshes systems.* - Basic and Applied Ecology, 2008 - 9, p. 743-751.



17

FICHE 17

Les coléoptères saproxyliques

INVERTÉBRÉS / INSECTES



R. Lecomte (Encem)

LES COLÉOPTÈRES SAPROXYLIQUES

GÉNÉRALITÉS

Le bois mort représente un élément d'habitat essentiel pour les organismes saproxyliques* qui « dépendent, pendant une partie de leur cycle de vie, du bois mort ou mourant, d'arbres moribonds ou morts, debout ou à terre, ou des champignons du bois, ou de la présence d'autres organismes saproxyliques » (SPEIGHT IN BRUSTEL *et al*, 2007). Ce cortège saproxylique (faune et flore) est constitué de 20 % de coléoptères*.

Parmi l'ensemble des coléoptères, 20 % sont saproxyliques, ce qui représente en Europe près de 2000 espèces appartenant à 68 familles, dont les plus connues sont les *Lucanidae* (lucanes), les *Cerambycidae* (capricornes, longicornes), les *Buprestidae* (buprestes), les *Curculionidae* (charançons), et les *Scolytidae* (scolytes).

Ces espèces sont relativement peu étudiées, et inaccessibles à l'entomologiste non spécialiste. En dépit de cela, c'est un groupe qui est parfois utilisé en bio-indication.

Premièrement, ce groupe participe grandement à l'équilibre des écosystèmes*, en particulier forestiers, en recyclant les nutriments, maintenant ainsi la fertilité des sols.

Deuxièmement, il s'agit d'un groupe menacé, en particulier par la destruction de ses habitats. Ceci a conduit à la mise en place d'un statut juridique pour les espèces étant à la fois les plus menacées et de bons indicateurs de la qualité et de la diversité des milieux. La protection de ces espèces dites « parapluies » impliquera donc la protection de nombreux autres organismes.



O. Delzons

Morimus asper



O. Delzons

Restes de *Cerambyx cerdo*

MÉTHODES

La grande diversité de coléoptères saproxyliques, tant au regard de leur écologie que de leur cycle de vie (certaines espèces bouclent leur cycle en plusieurs années), complique la mise en place d'un échantillonnage satisfaisant.

Diverses méthodes sont utilisées et, dans la plupart des cas, plusieurs méthodes sont combinées.

La recherche à vue, au filet fauchoir (figure 29) [fiche13] ou encore par battage au parapluie japonais (figure 30) [fiche13] permet d'échantillonner certaines espèces, mais de manière peu spécifique. Elle n'est souvent utilisée qu'en complément des autres méthodes car d'une efficacité très aléatoire.

Les **bacs colorés**, utilisés par exemple par LHOIR *et al.* (2003), permettent d'attirer des adultes de coléoptères saproxyliques à la recherche de pollen ou de nectar, mais aussi d'un très grand nombre d'espèces non saproxyliques qui, en augmentant sensiblement le temps de tri, rendent la méthode peu performante.

Des **pièges attractifs** peuvent être aussi utilisés, comme par exemple des pièges à bière suspendus dans les arbres, et contenant un liquide conservateur et fermentescible comme de la bière ou du vin.

LARRIEU (2005) utilise ainsi pour 10 l de mélange, 1 l de bière, 1 kg de sucre, 1 kg de sel, 1 l d'éthanol à 95 % et l'eau nécessaire pour le complément. BRUSTEL *et al.* (2007) supposent que la fermentation du liquide sucré (bière, vin, éthanol, additionné ou non de sucre...) attirent les insectes, qui perçoivent ce milieu comme une source alimentaire et comme un message de stress d'un arbre colonisable, similaire à l'odeur de sève suintante.

L'arrachage de l'écorce, suivi du tamisage

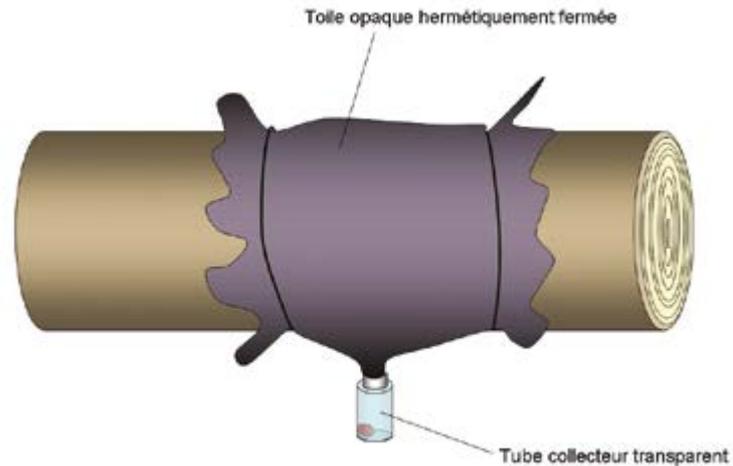
de l'écorce et du bois pourri est une des méthodes les plus anciennes. Elle permet de connaître les exigences écologiques des espèces récoltées, et d'établir des abondances, mais se révèle très destructrice pour le milieu. Par ailleurs, elle ne permet d'atteindre que les cortèges d'espèces saproxyliques vivant proches du sol, soit une minorité d'espèces.

Le tamisage peut être pratiqué *in situ*, ce qui a l'avantage d'être rapide et simple à mettre en œuvre, mais reste moins performant que l'extraction sous une lampe en laboratoire (méthode Berlèse), d'après ALINVI (2007). Cependant, le tri en laboratoire augmente considérablement le temps de travail.

Le terreau contenu dans les cavités des arbres creux peut lui aussi être tamisé *in situ*. Des espèces comme le pique-prune peuvent ainsi être inventoriées. Le terreau peut être replacé dans la cavité après la manipulation (RANIUS, 2002).

Les pièges à émergence (figure 39) sont aussi fréquemment utilisés. Des morceaux de bois morts, par exemple des bûches entières, ou des sections de tronc, sont enfermés de manière hermétique dans une toile ou une bâche. Les seules issues disponibles pour les insectes émergeant du bois sont constituées par des réceptacles transparents, laissant passer la lumière par laquelle les insectes sont attirés.

C'est une méthode intéressante car non destructrice pour le milieu, et offrant une vision exacte du peuplement au sein du bois.

Figure 39Exemple de piège
à émergence

Des pots-pièges (figures 32 et 33) [fiche 13] placés dans les cavités des arbres remplies de terreau permettent aussi de fournir de bons échantillons, de manière assez sélective.

Les pièges d'interception à vitres (figure 40) sont très utiles pour échantillonner les coléoptères saproxyliques. De nombreux auteurs préconisent leur emploi, souvent couplés avec au moins une autre méthode (BRUSTEL *et al.*, 2007). Ils permettent

d'intercepter un maximum d'espèces et d'individus (LHOIR *et al.*, 2003 ; RANIUS *et al.*, 2002 ; SIITONNEN, 1994). Il peut s'agir de pièges similaires à celui décrit dans la fiche ou, par exemple, du piège imaginé par KAILA (1993), plus spécifique aux insectes saproxyliques.

Certains groupes d'espèces peuvent aussi être piégés par des pièges à plateaux colorés jaunes ou violets (buprestes...).

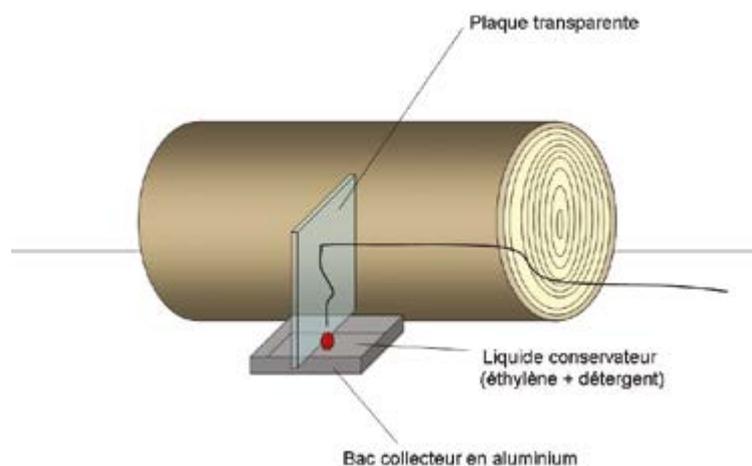
Figure 40Exemple de piège
d'interception à vitres

Tableau 23

Comparaison des méthodes de prospection des coléoptères saproxyliques à partir de ALINVI *et al.* (2007) [1], RANIUS *et al.* (2002) [2], SIITONEN (1994) [3], LHOIR *et al.* (2003) [4] et BRUSTEL *et al.* (2007) [5], BRUSTEL (2001) [6]

Méthodes	Groupes visés	Respect du milieu	Respect de la faune	Représentation fidèle du peuplement	Durée du travail de terrain	Durée du tri	Remarques
Chasse à vue, battage	Peu spécifiques	+	+	-	+	+	
Bacs colorés	Espèces floricoles	++	-	-	+	+++	
Pièges à bière	Peu spécifique	++	-	+ Améliorée si le piège est placé en hauteur ; permet la capture de groupes rarement piégés [6])	++	+++	Faciles à positionner et à relever, coûts réduits
Écorçage	Saproxyliques (5 % d'espèces non saproxyliques [1])	-	+	Rate 50 % des individus et beaucoup d'espèces [1] 3 fois moins d'espèces et 8 fois moins d'individus qu'avec le piège à vitres [2]	+++	+++	Performances améliorées si placé sous une lampe d'extraction Captures d'espèces saproxyliques ratées par les autres méthodes
Tamissage du terreau	Espèces saproxyliques	+++	++	++ Sous-estimation des espèces petites [2])	++	+	Rapide et bon marché [2]
Pots-pièges	Espèces saproxyliques	+++	++	+	+	+	
Pièges à émergence	Espèces saproxyliques en majorité [1]	+++	++	+++ Au sein de la pièce de bois échantillonnée	+++ Mise en place longue et laborieuse	+	Peu d'espèces retrouvées dans ce seul piège : prouve le bon déroulement de tout le cycle [1]
Pièges à vitres	Espèces saproxyliques mobiles et espèces non saproxyliques Assez spécifique aux saproxyliques [6]	+++	-	+++ [6]	++	++	Maximum d'espèces et d'individus [1] [2] [3] [5] [6] Assez cher et difficile à poser [4]

Dans le cadre d'une étude approfondie, de nombreux auteurs préconisent d'utiliser au moins deux méthodes complémentaires, voire davantage, chaque méthode étant plus ou moins spécifique d'un groupe écologique (bacs colorés pour les floricoles par exemple) (BRUSTEL, 2001).

L'utilisation d'espèces indicatrices est parfois à privilégier. En effet, ces espèces sont relativement simples à échantillonner et possèdent des exigences écologiques strictes. Leur présence, positivement corrélée avec une forte richesse spécifique* ou avec une communauté comprenant beaucoup d'espèces menacées, est parfois à privilégier (RANIUS *et al.*, 2002). Le pique-prune figure parmi ces espèces indicatrices. BRUSTEL (2001) a élaboré une liste d'espèces de coléoptères saproxyliques indicateurs de la qualité biologique des forêts. L'intérêt du site peut être évalué à partir de la rareté biogéographique des espèces présentes et du nombre de ces dernières. La liste des espèces prises en compte a été établie notamment à partir du niveau d'exigence des larves vis-à-vis de leur habitat, des informations disponibles sur l'écologie des espèces, sur la phénologie*, ou encore la facilité de capture et de détermination.

Toujours d'après BRUSTEL *et al.*, (2007), la meilleure méthode standardisable pour obtenir un bon échantillon des familles dominantes serait un couplage de pièges appâts (à la bière) et de pièges à vitres. Une campagne d'échantillonnage d'avril à septembre couvre l'essentiel des périodes d'activité des coléoptères saproxyliques, avec un maximum d'activité de début juin à mi-juillet, en

plaine comme en montagne. Quelques espèces, en particulier mycétophiles*, sont liées à l'arrière-saison biologique et nécessitent un piégeage en automne. Les pièges sont suspendus à un support naturel (branche) à hauteur d'homme, position à moduler en fonction de l'encombrement ou non de la strate échantillonnée et des risques de perturbation par le gibier. La mise en place de deux pièges par placette (à 20 m l'un de l'autre) permet d'obtenir des répliquats indépendants. Dans l'idéal, deux pièges appâtés et un piège à vitres sont placés par station.

Dans l'étude d'un site en particulier, un piège peut être idéalement placé en continu dans chaque micro-site représentatif de l'hétérogénéité des habitats. Pour réduire les coûts, on peut établir une rotation d'un plus petit nombre de pièges d'un site à l'autre, pour une plus courte période.

S'il n'y a pas de comparaisons envisagées, les pièges sont ciblés sur des sites très favorables (concentration de bois mort, micro-trouée dans un ensemble fermé).

Le liquide collecteur et les insectes que les pièges contiennent sont relevés à un intervalle déterminé, puis emmenés au laboratoire pour être triés.



O. Delzons

Tableau 24 Caractéristiques d'application des méthodes d'inventaire des coléoptères saproxyliques

Méthodes	Inventaire des coléoptères saproxyliques		
	Chasse à vue	Chasse des larves (tamisage, écorçage)	Piégeage (pièges à appâts, d'interception, à émergence...)
Domaines d'application	Milieus arborés, prairies	Arbres morts ou sénescents	Milieus arborés ou bocagers
Limites	Autorisation de capture (espèces protégées) Uniquement les espèces mobiles et/ou visibles	Autorisation de capture (espèces protégées) Uniquement les larves	Autorisation de capture (espèces protégées) Uniquement les imagos* mobiles
Compétences requises	++ en entomologie et en écologie des espèces	++ en entomologie et en écologie des espèces	++ en entomologie et en écologie des espèces
Coûts	+	++	+++



BIBLIOGRAPHIE

- ALINVI O. et al. - *Sampling saproxylics beetles assemblages in dead wood logs : comparing window and elector traps to traditional bark sieving and a refinement.* - J. Insects Conserv., 2007 - 11, p. 99-112.
- BENGTSSON J. et al. - *Biodiversity, disturbances, ecosystem function and management of European forests.* - Forest Ecology and Management, 2000 - 132, p. 39-50.
- BOUGET C., BRUSTEL H., NAGELEISEN L.M. - *Nomenclature des groupes écologiques d'insectes liés au bois : synthèse et mise au point sémantique.* - C.R. Biologies, 2005 - 328, p. 936-948.
- BRUSTEL H. - *Coléoptères saproxyliques et valeur biologique des forêts françaises.* - Dossiers forestiers, 2001 - 13
- BRUSTEL H., BOUGET C. - « *Les coléoptères saproxyliques* » In *Inventaire entomologique en forêt.* - Manuel INVENTFOR, 2007 - p. 44-50
- GIBB H. et al. - *Conservation-oriented forestry and early successional saproxylics beetles : responses of functional groups to manipulated dead wood substrates.* - Biological Conservation, 2006 - 129, p. 437-450.
- KAILA L. - *Dead trees left in clear-cuts benefit saproxylic Coleoptera adapted to natural disturbances in boreal forest.* - Biodiversity and Conservation, 1997 - 6, p. 1-18.
- KAILA L. - *A new method for collecting quantitative samples of insects associated with decaying wood or wood fungi.* - Finland : Entomologia Fennica, 1993 - 4, p. 21-23.
- LARRIERE L. - *Inventaire de coléoptères saproxyliques - Forêt de Hèches, Vallée d'Aure, Hautes-Pyrénées.* - CRPF Midi-Pyrénées, 2005.
- LHOIR J. et al. - *Efficacité du piégeage, par les méthodes classiques, des coléoptères saproxyliques en région wallonne (Belgique).* - Notes fauniques de Gembloux, 2003 - 50, p. 49-61.
- RANIUS T. - *Osmoderma eremita as an indicator of species richness of beetles in tree hollows.* - Biodiversity and Conservation, 2002 - 11, p. 931-941.
- RANIUS T., JANSSON N. - *A comparison of three methods to survey saproxylic beetles in hollow oaks.* - Biodiversity and Conservation, 2002 - 11, p. 1759-1771.
- Ranius T. et al. - *Osmoderma eremita (Coleoptera, Scarabaeidae, Cetoniidae) in Europe.* - Animal Biodiversity and Conservation, 2005 - 28(1), p. 1-44.
- SIITONEN J. - *Decaying wood and saproxylic Coleoptera in two old spruce forests : a comparison based on two sampling methods.* - Ann. Zool. Fennici, 1994 - 31, p. 81-95.
- VAN ACHTERBERG C., SHAW M.R., GROOTAERT P. - « *Chapter 17 - Flight interception traps for arthropods.* » In *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring, sous la direction de Eymann J. et al.* - Abc Taxa, 2010 - 8(2), p. 423-462.



18

FICHE 18

Les hyménoptères apoïdes
(abeilles solitaires et bourdons)

INVERTÉBRÉS / INSECTES



R. Lecomte (Encem)

LES HYMÉNOPTÈRES APOÏDES (CABELLES SOLITAIRES ET BOURDONS)

GÉNÉRALITÉS

Ce groupe, qui rassemble plus de 950 espèces d'abeilles solitaires et de bourdons en France, est largement méconnu et rarement abordé lors d'études écologiques. Bien qu'aucune espèce d'abeille sauvage ne possède de statut juridique de protection au niveau national, certaines d'entre elles bénéficient d'un statut de protection régionale comme les 7 espèces de bourdons qui figurent sur la liste des espèces protégées en région Île-de-France. D'autres, rares, semblent en forte régression et vont intégrer des listes rouges européennes.

Bien qu'aucune espèce de la faune française des Apoidea ne semblait menacée à court terme en France en 1995, et qu'il apparaît que même les espèces les plus localisées, ou les plus rares, semblent subsister en dépit de l'anthropisation croissante des paysages, des régressions massives d'espèces sont perceptibles dans certaines régions : en particulier, dans le nord de la France où l'on a constaté, comme en Belgique, un appauvrissement considérable de la faune durant la dernière décennie (Rasmont *et al.*, 1995).

Le rôle des Hyménoptères, notamment les Apoidea, tous consommateurs stricts de nectar et de pollen, est primordial dans le fonctionnement des écosystèmes : ils jouent un rôle majeur dans la pollinisation des plantes à fleurs sauvages et cultivées. La raréfaction des pollinisateurs sauvages a encouragé l'État

à rédiger un Plan national d'actions. De leur côté, les carrières (et principalement les sablières et autres activités qui génèrent des matériaux fins) permettent le développement de milieux pionniers, et sont pour cela appréciées des Hyménoptères psammophiles*. Ces habitats particuliers abritent fréquemment un cortège intéressant d'Apoidea spécialisés (sténotopes), notamment sur les zones nues de sable ou de limon (espèces sabulicoles et terricoles) ou sur les parois abruptes des talus.

Tous ces éléments plaident en faveur d'une meilleure prise en compte de ce groupe tant dans les études, comme cela a été fait dans les carrières de Wallonie (Belgique) (Remacle, 2005), que lors des travaux de gestion temporaire des milieux créés par l'exploitation et de remise en état des sites après exploitation (LEMOINE, 2013).



O. Delzons



O. Delzons

MÉTHODES

La chasse à vue, à l'aide d'un filet à papillons, est la méthode la plus employée. L'observateur chasse les insectes le long d'un parcours systématique, ou sur une surface donnée le long d'un transect. Il évitera les tenues noires ou bleues qui font fuir les abeilles. Les espèces nichant au sol peuvent être détectées grâce à leur nid. Les petites espèces seront collectées avec un aspirateur à bouche [fiche 13] (figure 31). La prospection se fait de préférence en milieu de journée, par temps chaud et sec, et sans vent. Plusieurs passages sont à prévoir, de mars à septembre. Signalons cependant l'emploi de **nids pièges**

dans certaines études. Ils consistent en des tubes creux (de type bambou), voire des bûches perforées avec des trous de diamètres divers, déposés à l'abri de la pluie, en situation ensoleillée, sur les sites d'études, et où certaines espèces sont susceptibles d'établir leur nid. Les tubes, une fois occupés par les larves, sont placés en laboratoire, jusqu'à l'émergence des adultes (Sheffield *et al.*, 2008).

Des pièges chromo-attractifs [fiche 13] basés sur des assiettes colorées peuvent également être utilisés afin d'augmenter les chances d'observation ou de capture (PREUD'HOMME, 2009).

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude des Hyménoptères apoïdes.

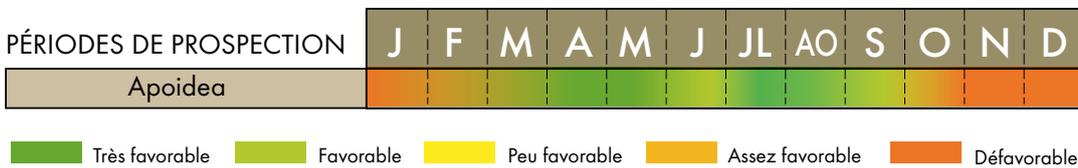


Tableau 25

Caractéristiques d'application des méthodes d'inventaire des apoïdes

Méthodes	Inventaire des apoïdes	
	Chasse à vue	Nids pièges
Domaines d'application	Tous les milieux, de préférence les espaces thermophiles et pas très fleuris	Tous les milieux
Limites	Météo Périodes et fréquence des passages	Restreints aux espèces nichant dans des orifices existants, soit 20 à 25 % des espèces
Compétences requises	+++ en entomologie Systématique et écologie parfois mal connues	+++ en entomologie Systématique et écologie parfois mal connues
Coûts	+	+

BIBLIOGRAPHIE

LEMOINE G. - *La prise en compte des Hyménoptères dans la requalification des carrières et notamment des sablières*. LE HÉRON, 44 (3-2011) : 133-148, 2013.

PREUD'HOMME R. - *Élaboration d'un jeu d'indicateurs permettant de mieux suivre la biodiversité en lien avec l'évolution de l'agriculture*. - MAP, MNHN, 2009.

RASMONT P. *et al.* - *Hymenoptera Apoidea Gallica - Liste taxonomique des abeilles de France, de Belgique, de Suisse et du Grand-Duché de Luxembourg*. - Bulletin de la Société entomologique de France, 1995 - 100, p. 1-98 - hors série.

REMACLE A. - *L'inventaire des carrières de Wallonie (Belgique) : présentation générale et aspects entomologiques*. - Notes fauniques de Gembloux, 2005 - 57, p. 73-79.

SHEFFIELD C.S. *et al.* - *Diversity of cavity-nesting bees (Hymenoptera Apoidea) within apple orchards and wild habitats in the Annapolis Valley, Nova Scotia, Canada*. - Canadian entomologist., 2008 - 140(2), p. 235-249.



19

FICHE 19

Les fourmis rouges

INVERTÉBRÉS / INSECTES

M. Adam Opiola



LES FOURMIS ROUSSES

GÉNÉRALITÉS

Avec 180 espèces en France, les fourmis ont colonisé un grand nombre de milieux. Leur position au sommet de la chaîne trophique (prédateurs opportunistes) les rend sensibles aux dégradations des milieux naturels (NAGLEISEN, 2007).

Elles forment un groupe relativement peu étudié mais, parmi elles, les fourmis rouges des bois (*Formica rufa* sensu lato), et les dômes qu'elles construisent, peuvent donner de précieuses indications sur l'état de santé de l'écosystème*.

Plusieurs espèces sont présentes dans les forêts françaises : *Formica rufa*, *Formica polyctena*, *Formica lugubris*, *Formica aquilonia*, *Formica pratensis* et éventuellement *Formica nigricans*. Une nouvelle espèce a été décrite en 1996, sous le nom de *Formica paralugubris*, considérée comme espèce jumelle distincte et sympatrique* de *Formica lugubris* avec laquelle elle était auparavant confondue.

Le genre *Formica* contient deux complexes d'espèces qui semblent déterminés par le contexte climatique et

altitudinal :

- le complexe *F. rufa* - *F. polyctena* - *F. pratensis* trouvé à basse altitude (moins de 800 m) ;
- le complexe *F. lugubris* - *F. aquilonia* trouvé à hautes altitudes (au-dessus de 800 m).

Leur nid est très facilement identifiable. C'est en général un dôme d'aiguilles de pin ou autres brindilles, adossé au pied d'un arbre ou sur une vieille souche. Ces dômes atteignent des tailles colossales car, à la partie visible pouvant atteindre un bon mètre de haut, il faut ajouter la partie souterraine, bien plus massive.

Les colonies de *Formica rufa* sont constituées d'un dôme principal, et d'une série de dômes secondaires entourant le premier dans un rayon de quelques dizaines de mètres. Tous ces dômes sont reliés entre eux par des routes de surface et souterraines rayonnant de tous les côtés. Une telle colonie abrite des millions d'individus.



O. Delzons

MÉTHODES

L'inventaire n'est pas réalisé par capture comme pour les autres groupes d'insectes. Il consiste à répertorier les dômes de brindilles, et à en décrire la répartition, le volume et leurs interrelations.

Les dômes sont inventoriés soit le long d'un transect [fiche 2] (une route ou un chemin par exemple), pour établir un indice linéaire d'abondance (nombre de nids au kilomètre), soit en évaluant la densité de dômes sur des zones de présence avérées, par des transects ou des quadrats.

Quatre à cinq ouvrières sont prélevées sur chaque dôme, pour déterminer leur espèce.

Dans le cas où plusieurs dômes sont à moins de 20 m les uns des autres, il est intéressant de vérifier si ces dômes appartiennent à une société (dite polycalique*) ou à plusieurs sociétés différentes. Pour cela, il suffit de confronter des ouvrières provenant de deux dômes différents, dans une boîte ou sur une fourmilière. La non-agressivité entre ouvrières de deux dômes révèle leur appartenance à une même société polycalique.

À partir de la densité de dômes à l'hectare, du volume moyen des nids, de la pseudo-biomasse par hectare, de l'existence de sociétés polycaliques, l'état de la population présente est décrit.

Pour exemple, une forêt résineuse non perturbée peut abriter environ quatre dômes par hectare. C'est cependant essentiellement sur la base de l'étude de l'évolution des populations que se fait le diagnostic, ou par la comparaison de zones

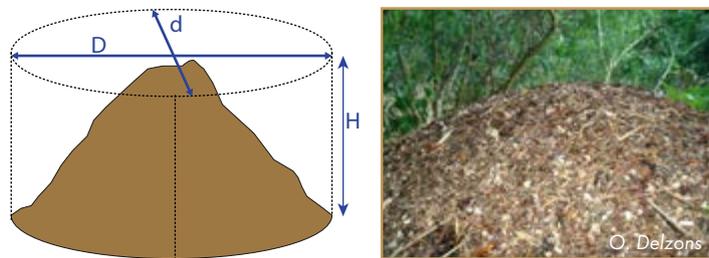
Chaque dôme est répertorié au GPS, puis décrit selon sa hauteur et les deux diamètres perpendiculaires de la base, qui permettront de calculer le volume épigé* V suivant la formule :

$$V = 2/3 * D/2 * d/2 * H$$

(avec D : grand diamètre, d : petit diamètre, H : hauteur du dôme) (voir figure 41).

Ce volume n'est qu'une estimation, susceptible d'être faussée par la présence d'une souche ou d'une pierre par exemple).

Figure 41 Dimensions à prendre en compte lors de l'estimation du volume d'une fourmilière



synchroniques *a priori* favorables aux fourmis. En effet, la seule absence de fourmis n'est pas un critère pertinent, cette absence pouvant s'expliquer par différents facteurs (absence de résineux où les fourmis exploitent les pucerons, microclimats froids et humides défavorables).

De plus, la densité parfois très faible des populations et leur répartition hétérogène dans les grands massifs peuvent complexifier les études de ce groupe. Les fourmis rouges restent cependant un bon indicateur de la qualité du milieu forestier, principalement résineux ou mixte, qui semble particulièrement pertinent pour l'étude de certains secteurs.

Tableau 26 Caractéristiques d'application des méthodes d'inventaire des fourmis rouges

Méthode	Inventaire des fourmis rouges
	Chasse à vue
Domaines d'application	Milieu forestier uniquement
Limites	L'absence de fourmis rouges peut être d'origine naturelle
Compétences requises	+ en entomologie
Coûts	+ selon la surface

BIBLIOGRAPHIE

NAGELEISEN L.M. - « Les fourmis rouges des bois » In Inventaire entomologique en forêt - Manuel INVENTFOR, 2007 - p. 58-61.



20

FICHE 20

Les syrphes

INVERTÉBRÉS / INSECTES



R. Lecomte (Encem)

LES SYRPHES

GÉNÉRALITÉS

Cette famille de diptères* est très importante, tant par le nombre d'espèces (plus de 500 en France), que par son rôle écologique de pollinisation (adultes) ou par sa biomasse (7 kg/ha de chênaie en poids sec, contre 5 kg pour les mammifères et 1,3 kg pour les oiseaux ; SARTHOU & MONTEIL, 2006).

Certaines espèces sont à surveiller : 76 espèces sont en nette diminution et 82 espèces sont menacées au niveau français.

Les syrphidés* sont reconnus pour être d'intéressants bio-indicateurs [fiche 5] (d'après LARRIEU 2004) :

- la systématique, la chorologie* et la biologie de la majorité des espèces sont connues ;
- un accès à un grand nombre d'informations est possible, notamment concernant les macro- et microhabitats nécessaires aux cycles biologiques des différentes espèces (bases de données Syrph the Net pour l'Europe et Syrphid pour la France) ;
- le taxon* comporte un grand nombre d'espèces dont les stades larvaires sont sténoèces* pour de nombreux habitats très divers ;
- le piégeage est facilement standardisé par l'utilisation de tentes Malaise [fiche 13], (figure 35) ;
- l'échantillonnage ne demande qu'une courte période : 2 ou 3 ans pour un inventaire quasi exhaustif ou une seule année pour une étude comparative synchronique entre sites (SPEIGHT *et al.*, 2000) ;
- l'aire de répartition du taxon est importante ; cette famille est présente dans de nombreux écosystèmes* et habitats ;
- certains microhabitats, qualifiés d'« attributs vitaux des écosystèmes » en écologie de la restauration, ou bien certaines caractéristiques écologiques, sont difficilement observables directement, mais sont révélés par les syrphidés (colonies d'hyménoptères* sociaux à nids hypogés, cavités dans les arbres et coulées de sève) ;
- les syrphidés renseignent sur l'ensemble des processus clés des cycles écologiques : production primaire, consommation et décomposition ;
- ils révèlent rapidement une atteinte à l'intégrité de l'écosystème ;
- le taxon est linéairement sensible à des variations d'intégrité : la disparition d'un microhabitat se traduit par la perte d'une ou plusieurs espèces associées.



B. Frochet



O. Delzons

MÉTHODES

La capture des Syrphidés peut se faire de manière active, par la chasse à vue, ou passive, par la pose d'un piège.

La **chasse à vue** offre l'avantage de permettre de voir l'insecte avant de le capturer (son type de vol, les fleurs visitées, les microhabitats inspectés par les femelles), ce qui est instructif et enrichissant, voire nécessaire pour un spécialiste.

Les **pièges à plateaux colorés** utilisent l'attraction des syrphes adultes envers les couleurs vives qu'ils confondent avec des fleurs.

Des pièges à émergence permettent d'isoler des microhabitats et de parfaire la connaissance des exigences écologiques des syrphes.

Ce sont souvent les **pièges Malaise** [fiche 13] qui sont préférés.

Cependant, comme toutes les autres techniques de capture, ils ne permettent pas d'avoir une image exacte du peuplement. Celle-ci sera plus facile à obtenir en couplant plusieurs techniques (VALLET, 2007).

Le piège Malaise est en forme de tente, en tissu noir ou blanc, avec des côtés ouverts et un plan

central vertical orientant les insectes vers un toit conique muni d'un collecteur.

C'est un piège non attractif, particulièrement efficace pour les syrphes.

Deux pièges sont posés par habitat déterminé (de préférence habitats s'inscrivant dans la liste définie sur Syrph the Net). Il est nécessaire de procéder à deux campagnes de piégeage, l'une au cours du printemps, pendant le pic de floraison de la végétation, et l'autre durant l'été. Ces dates peuvent être modifiées suivant les conditions météorologiques et en fonction de la zone prospectée.

Les pièges sont laissés en place durant deux semaines.

Les échantillons sont ensuite triés en laboratoire (environ 10 h par échantillon), puis les syrphes sont déterminés.

Il est possible de se référer aux bases de données en ligne, qui permettent d'obtenir une liste d'espèces attendues pour chaque site, et de la comparer aux résultats observés. Ceci permet d'établir un diagnostic de l'état écologique du site.

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude des syrphidés.

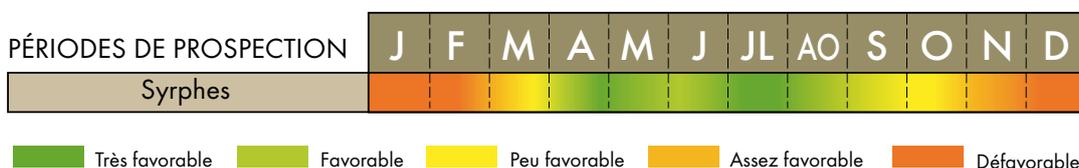


Tableau 27 Caractéristiques d'application des méthodes d'inventaire des syrphidés

Méthodes	Inventaire des syrphidés			
	Chasse à vue	Pièges colorés	Nasses à émergence	Pièges Malaise
Domaines d'application	Tous les milieux	Tous les milieux	Microhabitats isolables	Tous les milieux
Limites	Période d'échantillonnage courte Image très inexacte du peuplement	Toutes les espèces ne sont pas capturées	Uniquement espèces inféodées à ce microhabitat	Toutes les espèces ne sont pas capturées
Compétences requises	++	++	++	++
Coûts	+	++	++	++

BIBLIOGRAPHIE

LARRIERU V. - *Évaluation, par les Diptères Syrphidés, de l'impact d'une sylviculture traditionnelle sur des hêtraies-sapinières montagnardes - Forêt de Hèches, Vallée d'Aure, Hautes-Pyrénées, France.* - CRPF Midi-Pyrénées, 2005.

SARTHOU J.P., MONTEIL C. - *SYRFID vol. 3 : Syrphidae of France Interactive Data* - 2006
On-line URL : <http://syrfid.ensat.fr/>

SPEIGHT M.C.D. - *An "expert system" approach to development of decision tools for use in maintenance of invertebrate biodiversity forests ; Paneuropean Ecological Network in Forests : Conservation of Biodiversity and Sustainable Management* - Krakow, Poland : Joint United Nations Environmental Programme / Council of Europe Symposium, 2004, 7-9th October.

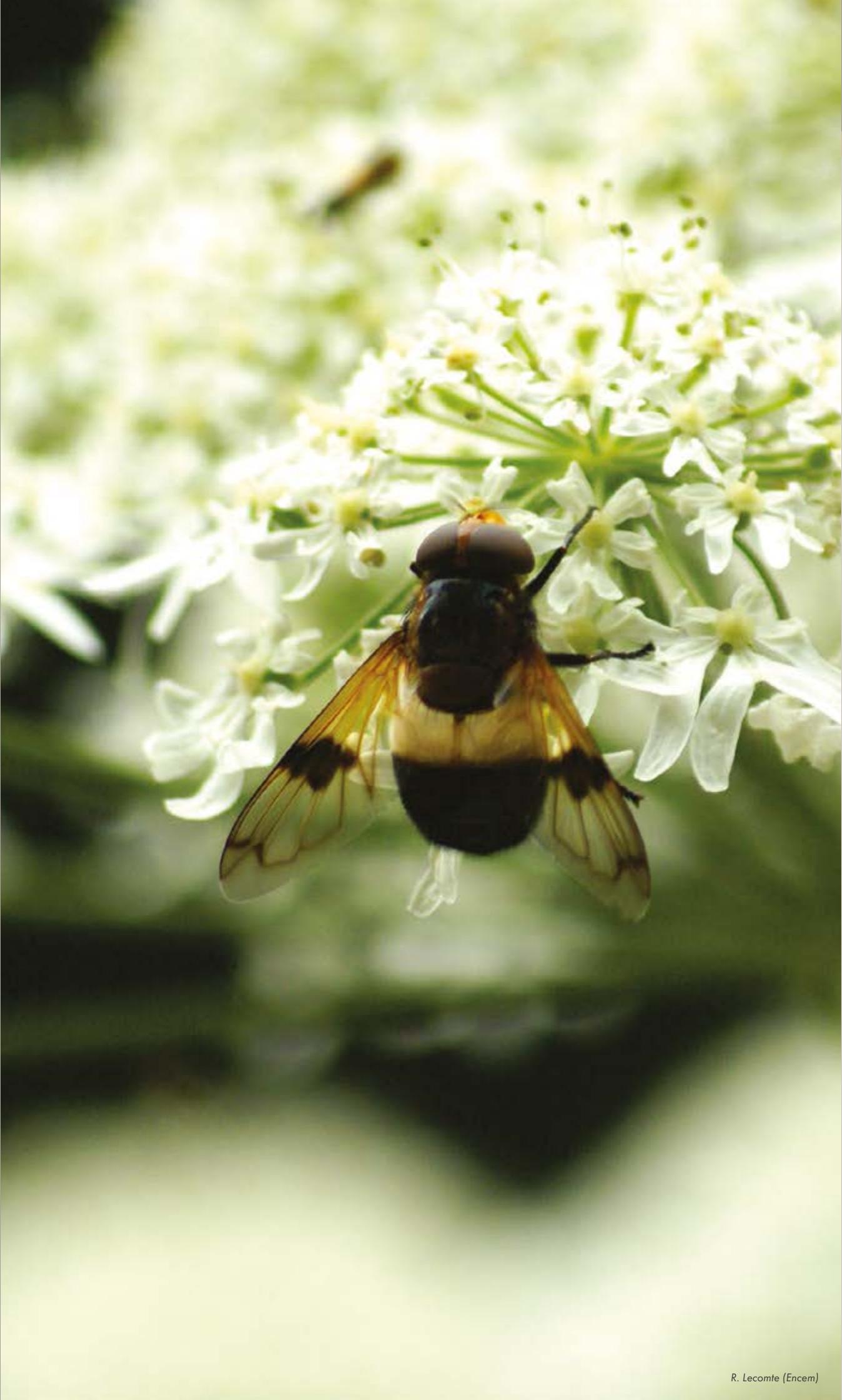
SPEIGHT M.C.D., CASTELLA E., OBRDLIK P. - « *Use of the Syrph the Net database 2000* » In *Syrph the Net, the database of European Syrphidae* sous la direction de Speight M.C.D. et al. - Dublin : Syrph the Net publications, 2000 - 25.

VALLET A. - « *Syrphidés* » In *Inventaire entomologique en forêt.* - Manuel INVENTFOR, 2007 - p. 55-57.

Bases de données consultables sur Internet :

Syrfid (France) : <http://syrfid.ensat.fr/>

Syrph-the-net (Europe) : <http://www.iol.ie/~millweb/syrph/syrphid.htm>





21

FICHE 21

Les rhopalocères
(papillons de jour)

INVERTÉBRÉS / INSECTES



R. Lecomte (Encem)

LES RHOPALOCÈRES (PAPILLONS DE JOUR)

GÉNÉRALITÉS

Les lépidoptères* rhopalocères*, communément appelés papillons de jour, s'ils ne sont pas pris en compte de manière systématique pour toute étude écologique, figurent cependant parmi les groupes d'insectes les plus couramment étudiés.

Ils sont en effet pratiques à utiliser en bio-indication [fiche 5], car :

- leur biologie et leur biogéographie sont bien connues ;
- leur identification est facile au regard de celle des autres invertébrés, et les 500 espèces européennes sont largement traitées dans différents guides ;
- leur prise en compte entraîne celle des autres groupes aux exigences écologiques similaires ou proches, et celle de leurs plantes-hôtes, sur lesquelles grandissent leurs chenilles ;
- leurs exigences, différentes de celles des vertébrés, donnent des informations complémentaires aux résultats amenés par d'autres méthodes ;
- ce sont de bons indicateurs de changement des milieux ;
- ils peuvent mettre en évidence l'intérêt de certains microhabitats.

De plus, nombre d'espèces figurent dans des listes d'espèces patrimoniales, listes rouges UICN, listes rouges nationales ou régionales. Citons notamment les espèces concernées par la directive Habitats-Faune-Flore.



O. Delzons

Gazés
Aporia crataegi

Le paon du jour
Aglais io



O. Delzons

Le miroir
Heteropterus morpheus



O. Delzons

MÉTHODES

Les rhopalocères sont recherchés à la belle saison, surtout entre mai et août, avec au moins deux dates de passage. Les insectes adultes **sont capturés en vol à l'aide d'un filet à papillons, le long d'un parcours systématique** traversant tous les milieux, ou le long de transects [fiche 2] échantillonnant une bonne diversité d'habitats.

Les milieux ouverts, comme les pelouses* sèches par exemple, ainsi que les lisières, sont prospectés en priorité. La capture n'est pas toujours nécessaire, certaines espèces pouvant être déterminées à vue. L'identification des imagos* se fait très largement sur le terrain. Il est donc le plus souvent possible de relâcher les individus capturés.

La **recherche de chenilles**, à vue, ou par fauchage ou battage [fiche 13], (figure 30), peut donner d'autres indications sur les espèces présentes. Les chenilles ne peuvent cependant pas toujours être déterminées jusqu'à l'espèce.



O. Delzons

Dans certains cas très précis, les chenilles peuvent être prélevées sur leur plante-hôte et élevées en laboratoire, afin d'obtenir

l'imago après métamorphose et de pouvoir alors identifier l'espèce. Cette technique accaparante et parfois difficile n'est que très rarement envisagée.

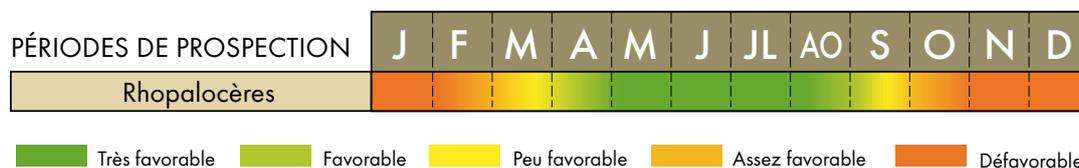
D'autres méthodes peuvent être mises en œuvre, adaptées à chaque situation. Par exemple, dans le cadre d'un suivi d'une espèce patrimoniale (*Maculinea alcon*, l'azuré de la pulmonaire), CABROL *et al.* (1999) ont utilisé **le comptage des pontes** de ce papillon sur sa plante-hôte, *Gentiana pneumonanthe* (la gentiane pulmonaire), pour évaluer l'impact de mesures de gestion (fauchage).

La complémentarité des récoltes et des piégeages est déterminante dans le cadre d'un inventaire

mais le recours à des méthodes autres que la chasse à vue est limité par les moyens matériels et humains nécessaires, et le temps à y consacrer. La durée minimum, pour obtenir un inventaire le plus exhaustif possible, est une année complète, afin de recenser la faune lépidoptérique de chaque saison et,

pour pallier les variations interannuelles, plusieurs années consécutives (deux au minimum).

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude des lépidoptères rhopalocères.





P. Gourdain (MNHN/SPN)

Le fadet tyrrhénien - *Coenonympha corinna*

P. Gourdain (MNHN/SPN)

La thécla du bouleau - *Thecla betulae***Tableau 28**

Caractéristiques d'application de l'inventaire des rhopalocères

Méthodes	Inventaire des rhopalocères	
	Récoltes à vue	Recherche de chenilles
Domaines d'application	Tous les milieux, en particulier ceux assez ouverts	Tous les milieux
Limites	Conditions météorologiques (absence de soleil, vent, précipitations) Choix judicieux des périodes de passage Variations interannuelles	Difficulté de reconnaissance des espèces Choix judicieux des périodes de passage Variations interannuelles
Compétences requises	++ Bonnes connaissances des imagos	+++ Très bonnes connaissances en entomologie
Coûts	+ par passage, mais prévoir plusieurs campagnes	+ par passage +++ si reconnaissance en laboratoire ou élevage

BIBLIOGRAPHIE

CHABROL L. *et al.* - *Préservation de Maculinea alcon (Lep, Lycaenidae) en Limousin : exemple de gestion écologique. Inventaire et cartographie des invertébrés comme contribution à la gestion des milieux naturels français. Actes du séminaire tenu à Besançon les 8, 9 et 10 juillet 1999.* - Paris : Patrimoines naturels, 1999 - p. 23-28.

DEMERGES D. - *Proposition de mise en place d'une méthode de suivi des milieux ouverts par les Rhopalocères et Zygaenidae dans les Réserves Naturelles de France.* - Quétigny, France : Réserves Naturelles de France et Office pour les Insectes et leur Environnement du Languedoc-Roussillon, 2002.

LAFRANCHIS T. - *Les papillons de jour de France, Belgique et Luxembourg, et leurs chenilles.* - Mèze : Biotope, 2000 - Collection Parthénope.

LANGLOIS D., GILG O. - *Méthode de suivi des milieux ouverts par les Rhopalocères dans les réserves naturelles de France.* - Quétigny, France : Réserves Naturelles de France, 2007.

MANIL L., LERCH A., JULLIARD R. - *Phénologie et répartition par types d'habitats des Rhopalocères d'Île-de-France (Lepidoptera : Rhopalocera). Exploitation des données du STERF (2005-2008).* - *Lépidoptères*, 2008 - 17(41), p. 95-109.

MANIL L., LERCH A., FONTAINE B., JULLIARD R. - *Suivi Temporel des Rhopalocères de France (STERF) - Bilan 2005-2011.* - MNHN et Association des Lépidoptéristes de France, 2012.

POLLARD E., YATES T.J. - *Monitoring butterflies for ecology and conservation : The British Butterfly Monitoring Scheme.* - Chapman & Hall Publ., 1994.





22

FICHE 22

Les hétérocères
(papillons de nuit)

INVERTÉBRÉS / INSECTES



R. Lecomte (Encem)

LES HÉTÉROCÈRES (PAPILLONS DE NUIT)

GÉNÉRALITÉS

Ces papillons, appelés improprement papillons de nuit, bien que très nombreux (plus de 5000 espèces en Europe), nous sont moins familiers que les rhopalocères* (papillons de jour). Ils sont de fait d'un abord plus difficile, avec une systématique complexe, en particulier en ce qui concerne les plus petits d'entre eux, les microhétérocères* comme les Tortricidae, Crambidae, Pyralidae, ou les Incurvariidae. Ils sont donc relativement peu pris en compte lors d'études écologiques.

Quelques espèces bénéficient d'une protection juridique nationale ou internationale (voir tableau ci-après), et très souvent aussi au niveau régional.

Les lépidoptères* et, *a fortiori*, leur composante majoritaire, les hétérocères, jouent un rôle considérable dans le fonctionnement des écosystèmes*, comme régulateur de la végétation lorsqu'ils sont à l'état larvaire (chenilles) ; un hectare de forêt polonaise héberge par exemple 2 à 8 millions de chenilles d'après WITOWSKI in BONNEIL & LHONORÉ (2007). Ce sont aussi

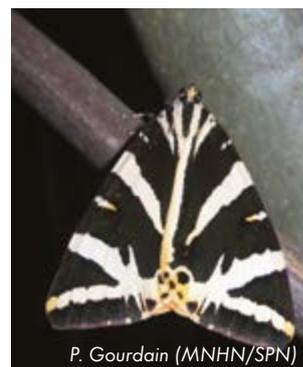
des proies pour de nombreux prédateurs (insectes, oiseaux, chiroptères*, micromammifères).

Les chenilles, presque toujours végétariennes, ont chez beaucoup d'espèces des régimes spécialisés ; le peuplement de lépidoptères d'un habitat reflète donc assez fidèlement sa composition floristique. C'est pourquoi les hétérocères sont considérés comme de bons indicateurs du degré de perturbation et de dégradation des forêts, ainsi que des actions anthropiques sur l'habitat forestier (coupes, fragmentation).

La zygène de la bruyère
Zygaena fausta



O. Delzons



P. Gourdain (MNHN/SPN)

L'écaille chinée
*Euplagia
quadripunctaria*

MÉTHODES

Certains hétérocères sont totalement diurnes ; leur étude se fait donc de manière similaire à l'étude des rhopalocères [fiche 21]. Parmi ceux-ci, les Zygaenidae pourraient prêter à confusion, leurs antennes en massue et leurs couleurs vives, ainsi que leurs mœurs diurnes, les faisant ressembler à des rhopalocères.

De nombreuses autres espèces d'hétérocères diurnes existent, en particulier dans les familles des Micropterigidae, Eriocraniidae, Incurvariidae, Heterogynidae, Psychidae, Tineidae, Sesiidae, Cochyliidae, Tortricidae, Pyralidae, Lemoniidae, Attacidae, Geometridae, Sphingidae, Arctiidae et Noctuidae.

Les autres espèces, nocturnes ou crépusculaires, sont inventoriées essentiellement à l'aide de pièges, [fiche 13]. Une autorisation préalable peut être nécessaire auprès des services de l'État, en particulier si la capture d'espèces protégées est prévisible. L'attraction lumineuse est largement utilisée, et c'est la méthode qui permet de piéger le plus grand nombre d'espèces d'un maximum de familles.

Un relevé par semaine, d'avril à septembre, permet d'accéder à une bonne image du peuplement.

Les pièges à appâts permettent d'obtenir des espèces supplémentaires et sont particulièrement efficaces pour capturer les Noctuidae.

La complémentarité des prospections lumineuses et des piégeages est déterminante dans le cadre d'un inventaire mais est limitée par les moyens matériels et humains, et par le temps à y consacrer. La durée minimum, pour obtenir un inventaire le plus exhaustif possible, est une année complète, afin de recenser la faune lépidoptérique de chaque saison et, pour pallier les variations interannuelles, plusieurs années consécutives (deux au minimum).



O. Delzons

La hachette
Aglia tau

Tableau 29

Caractéristiques d'application des méthodes d'inventaire des lépidoptères hétérocères

Méthodes	Inventaire des lépidoptères hétérocères		
	Récoltes à vue	Pièges lumineux	Pièges à appâts
Domaines d'application	Tous les milieux, en particulier ceux assez ouverts*	Tous les milieux, en particulier ceux assez ouverts	Tous les milieux
Limites	Météo favorable (absence de vent) Choix judicieux des périodes de passage Variations interannuelles	Perturbation de la faune Nombreuses campagnes, de préférence à des dates échelonnées au cours de la saison	Perturbation des insectes, y compris d'autres groupes
Compétences requises	+++ Très bonne connaissance des imagos*	+++ Très bonne connaissance des imagos	+++ Très bonne connaissance des imagos
Coûts	+ par passage, mais prévoir plusieurs campagnes	+++ Investissement assez lourd, et matériel relativement long à mettre en place	++ Variable suivant les pièges utilisés et la fréquence de relevé des pièges

BIBLIOGRAPHIE

BONNEIL P., LHONORÉ J. - « Les lépidoptères » In *Inventaire entomologique en forêt. Éléments essentiels pour une standardisation des méthodes.* - INVENTFOR, 2007.



23

FICHE 23

Inventaire qualitatif des poissons

VERTÉBRÉS



© Stocklib

INVENTAIRE QUALITATIF DES POISSONS

GÉNÉRALITÉS

Lors d'une étude simple, les poissons sont rarement pris en compte. Leur étude est en effet difficile et nécessite un échantillonnage long et complexe, ciblé sur certains groupes.

Une première analyse des documents disponibles et une enquête peuvent renseigner sur la présence avérée ou supposée de certains taxons, notamment auprès des organismes liés à la gestion de l'eau et de la pêche comme les Agences de l'eau, l'ONEMA, les fédérations de pêche. Il s'agit en particulier des espèces figurant à l'annexe I de la directive Habitats, des 18 espèces de poissons figurant parmi les espèces d'intérêt communautaire. Parmi elles, beaucoup sont protégées sur l'ensemble du territoire national.

La plupart des espèces qui fréquentent les grands cours d'eau, les rivières à cours rapide, ou à répartition très localisée, ne sont que rarement rencontrées dans le contexte de cet ouvrage. Ainsi le chabot du Lez (*Cottus petiti*) est circonscrit à une seule rivière par exemple.

Quelques espèces peuvent être recherchées en priorité, à savoir des espèces à répartition assez large.

18 espèces de poissons figurent dans les espèces d'intérêt communautaire. Parmi elles, beaucoup sont protégées sur l'ensemble du territoire. et dont les

mœurs facilitent la tâche des opérateurs, comme le chabot et la lamproie de rivière, présents entre autres sur les ruisseaux avec une bonne qualité d'eau, la bouvière, fréquentant les zones stagnantes ou à faible courant, la loche d'étang, elle aussi d'eau stagnante, et la loche de rivière, signalée dans des ballastières et des sablières, le plus souvent connectées avec le cours d'eau. Ce sont des espèces fréquentes dans les zones alluviales, parfois détectables avec une simple épuisette. Il est cependant nécessaire de mettre en œuvre des moyens plus conséquents pour connaître le peuplement piscicole d'un lieu [fiche 24].



O. Delzons

Chabot - *Cottus gobio*

MÉTHODES

Les populations de certaines espèces peuvent aussi être caractérisées de manière simple. C'est le cas, par exemple, pour des espèces de cours d'eau comme la truite ou l'ombre. Ces espèces pondent dans les graviers, en creusant une légère dépression avec leur queue. Celle-ci est visible de loin, le gravier fraîchement remué, de couleur

claire, ressortant sur le fond de gravier recouvert d'algues brunes ou vertes. La visite en période de reproduction permet de détecter assez facilement les secteurs de ponte, et de dénombrer les femelles en cours de ponte.

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude des poissons.

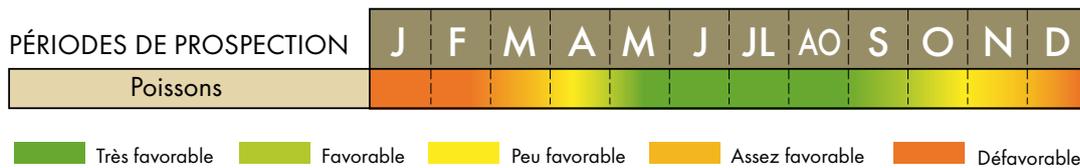


Tableau 30 Caractéristiques d'application de l'inventaire simple des poissons

Méthodes	Inventaire simple des poissons
Domaines d'application	Milieux aquatiques de faible profondeur, accessible
Limites	Peu d'espèces concernées
Niveaux de compétences requis	++ Ichtyologie et écologie des poissons
Coûts	+



24

FICHE 24

Quantification des poissons

VERTÉBRÉS



© Stocklib / emirali kokal

QUANTIFICATION DES POISSONS

GÉNÉRALITÉS

Pour mieux comprendre le fonctionnement d'un hydrosystème, l'étude des poissons est souvent riche d'enseignements. Elle apporte de plus des renseignements sur l'utilisation de l'espace par l'ichtyofaune*, la richesse spécifique* et la présence d'espèces patrimoniales ainsi que les densités des populations.

De très nombreuses méthodes de recensement ont été mises au point. Nous détaillerons essentiellement l'échantillonnage au filet et la pêche électrique. Citons aussi, par exemple, l'écho-

détection à l'aide de sonar, coûteuse et relativement peu précise, les différentes espèces n'étant pas toujours distinguables.

MÉTHODES

Parmi les méthodes de capture fréquemment usitées, retenons entre autres :

- le chalut : c'est un filet en entonnoir tracté par un ou plusieurs bateaux ;
- la seine (ou senne) de rivage ; c'est une sorte de chalut manipulé à pied, sur peu de fond. Pendant qu'un manipulateur maintient en place une extrémité de la seine à une profondeur approximative de 0,5 m, l'autre la déroule vers le large (à gué ou en bateau selon la profondeur) et revient vers la rive en décrivant un cercle, en maintenant la ralingue inférieure sur le fond, de façon à refouler les poissons dans la poche ;

- les postes fixes (trappes, nasses...).

Le choix de la technique de capture se fait en fonction du milieu (profondeur, vitesse du courant, présence d'obstacles) et en fonction des finalités de l'étude, chaque méthode étant plus ou moins sélective vis-à-vis de certaines espèces ou de certaines classes d'âge. Par exemple, la sélectivité du filet maillant dépend de la probabilité pour le poisson de rencontrer le filet (proportionnelle à la distance parcourue par le poisson durant la période d'échantillonnage) et de la probabilité qu'il soit capturé et retenu dans le filet (fonction de la circonférence du poisson et du périmètre de la maille).

La seine de rivage est sélective envers les poissons de petite taille et les poissons pélagiques*. Son efficacité est réduite lorsque la profondeur est trop élevée et lorsque des obstacles tels que des roches, des branches ou des macrophytes* sont présents au fond.

Tableau 31

Comparaison de différentes techniques de capture de l'ichtyofaune (modifié, d'après CASSELMAN *et al.*, 1990). Avec p : profondeur en mètres ; v : vitesse du courant en m/s et 0 : efficacité nulle ; * : efficacité qualitative ; ** : efficace ; *** : très efficace

Technique		Pêche électrique	Filets maillants	Chaluts	Dragues	Nasse/piège	Seine	Cappe	
Type de milieu	p < 1,2	v < 0,5	***	*	*	**	**	***	
		0,5 < v < 1,5	***	*	*	**	*	**	
		v > 1,5	**	0	0	**	**	0	**
	p > 1,2	v < 0,5	**	***	***	***	**	*	0
		0,5 < v < 1,5	**	**	***	***	**	*	0
		v > 1,5	*	0	*	*	**	*	
	Herbiers, blocs		***	**	0	0	**	*	*
Obstacles, sous-berges		***	**	0	0	**	0	*	
Espèces : type comportemental	Territoriales à caches (truite, brochet)		***	**	0	0	**	**	*
	Territoriales benthiques (chabot, loche)		**	*	0	***	*	*	***
	Mobiles benthiques (hotu, barbeau)		***	***	*	*	**	*	**
	Pleine eau 1 (ablette, vairon)		**	***	***	0	**	*	*
	Pleine eau 2 (ombre, vandoise)		**	***	*	0	*	*	*
Stade	Oeuf		0	0	*	*	0	0	0
	Alevin		*	0	**	**	**	*	**
	Juvénile		**	*	***	***	***	***	***
	Adulte		***	***	**	***	**	**	*

1. Pêche au filet

Les filets sont particulièrement utilisés pour l'échantillonnage dans les grands cours d'eau profonds (> 1,50 m à 2 m) ainsi que dans les plans d'eau.

Ils permettent d'obtenir une bonne image des espèces présentes. Par contre, les espèces très petites ou benthiques sont sous-échantillonnées. De plus, ils ne capturent pas toutes les classes de taille d'une population. Ils sont donc parfois

utilisés en parallèle avec d'autres techniques pour pallier ces biais (trappes, nasses).

Ils offrent aussi la possibilité de comparer des peuplements, que ce soit au niveau de la densité, de la richesse spécifique*, des rapports taille/poids, des rendements par surface de filets. Enfin, des conclusions sont tirées sur l'utilisation de l'espace par les poissons, et leur rythme de déplacement, par exemple en prospectant l'ensemble de la hauteur d'eau.

Quelques exemples de filets

- pic : filet maillant monofilament, uniquement en lac pour la pêche en pleine eau, diamètre des mailles de 1 à 80 mm ;
- araignée : filet maillant monofilament ; idéalement, le filet fera la hauteur de la lame d'eau, pour éviter de perdre des poissons ;
- filets de surface ;
- tramail ou trémail : filet emmêlant à trois rangs de mailles, très résistant ; le poisson est pris dans les poches formées par les 3 épaisseurs de mailles. Ce filet n'abîme pas les poissons et permet de capturer quasiment toutes les espèces et toutes les tailles.

Figure 42

Schéma d'un filet
(exemple d'un pic)

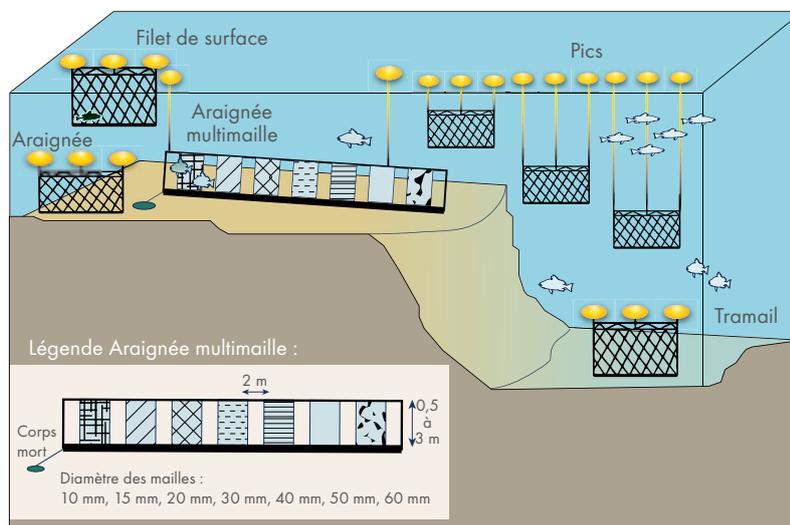
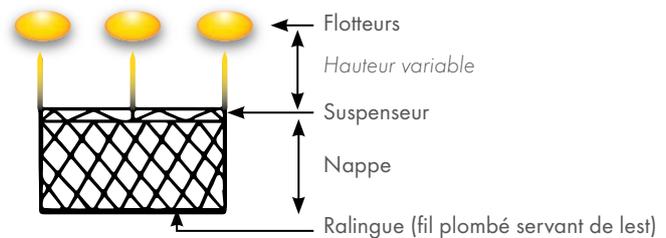


Figure 43

Mise en place
schématique
de différents filets
dans un lac

Le protocole pr EN 14757:2003 décrivant les filets multimailles est destiné à être utilisé dans le cadre des réseaux DCE*. Cette norme européenne décrit une méthode normalisée pour l'échantillonnage des poissons dans les lacs, à l'aide de filets maillants multimailles (SANDRE, 2005).

La méthode fournit une estimation, à l'échelle d'un lac, de l'occurrence des différentes espèces, de leur abondance relative, numérique et pondérale, exprimée en capture par unité d'effort (CPUE), et de la structure en taille des peuplements de poissons dans les lacs tempérés. Elle fournit également des estimations comparables dans le temps au sein d'un même lac ou entre plusieurs lacs. Deux engins sont nécessaires : des filets benthiques* et un filet pélagique*. Le nombre de poses des filets pendant 12 heures est défini en fonction de la profondeur et de la surface du plan d'eau. Le filet pélagique est posé dans la zone de profondeur maximale

du plan d'eau. Les filets benthiques sont disposés aléatoirement mais de façon que chaque strate de volume d'eau soit également représentée.

Le protocole des filets verticaux repose sur la pose pendant 24 heures d'une batterie de 7 filets de mailles différentes répartis sur l'ensemble des habitats du plan d'eau. La répartition spatiale s'opère à deux niveaux : tout d'abord, l'espace lacustre est partagé en trois zones morpho-structurales : la zone littorale, le talus et la zone centrale ; ensuite, des pôles d'attraction sont définis en tenant compte de la hauteur d'eau, des tributaires et émissaires, et de la structure spatiale des substrats minéraux et des supports végétaux. En zone littorale de profondeur inférieure à 3 mètres, des araignées multimailles « verticales » remplacent la batterie de filets.

Ce protocole sera donc privilégié dans le cadre d'étude de la répartition spatiale des poissons ou des relations habitats/poissons.



P. Gourdain (MNHN/SPN)

Jeune brochet

2. Pêche électrique

Cette méthode est particulièrement adaptée aux échantillonnages des cours d'eau de faible profondeur (< 1,50 m), mais peut être aussi utilisée dans les grands cours d'eau près des rives ou, dans certains cas, dans les fleuves, à pied sur les berges ou à partir de bateaux.

Elle peut être mise en œuvre lors de campagne de capture-marquage-recapture, ou le plus souvent pour la méthode des enlèvements successifs.

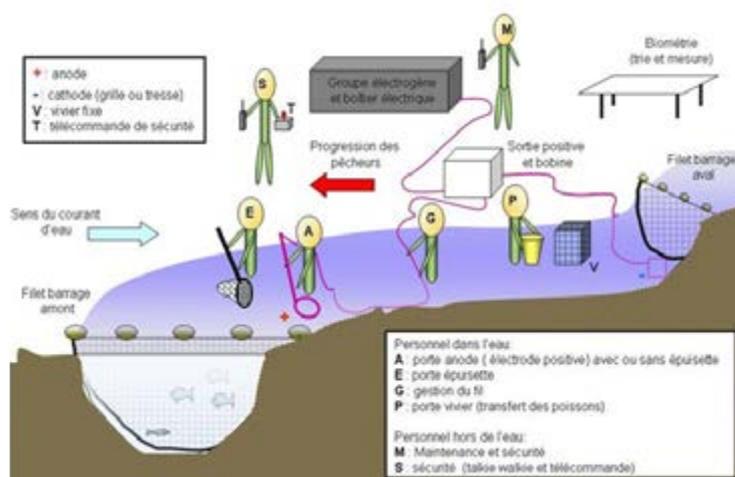
La pêche électrique consiste à faire passer dans l'eau un courant électrique alternatif redressé ou impulsif (selon le matériel utilisé) entre une

anode tenue par un opérateur et une cathode placée à l'extrémité du dispositif. Jusqu'à 2 mètres de l'anode, ce courant agit sur le comportement du poisson : celui-ci va irrésistiblement nager vers l'anode. C'est ce que l'on appelle la « nage forcée ». Le courant induit une contraction des muscles locomoteurs, successivement à droite puis à gauche, ce qui les fait se diriger droit vers l'anode. Une fois le poisson arrivé à proximité de l'anode, il entre en tétanie et se laisse couler ou remonte à la surface. Cette phase est à éviter au possible car elle peut entraîner la mort du poisson.

L'anode est donc souvent une époussette modifiée qui permet d'utiliser ce phénomène.

Figure 44

Schéma de principe d'une pêche électrique à pied en rivière (enlèvements successifs [fiche 4])



P. Gourdain (MNHN/SPN)

Tri des poissons par classe de taille lors d'une pêche électrique

La norme européenne EN 14011 spécifique aux pêches à l'électricité impose une longueur de station au moins égale à 20 fois la largeur du cours d'eau sauf pour les grands cours d'eau « homogènes » (largeur > 30 m) où elle peut être réduite à 10 fois la largeur (BELLARD *et al.*, 2008).

Deux types de prospection par pêche électrique peuvent être envisagés selon les caractéristiques hydromorphologiques du cours d'eau (profondeur et largeur moyenne) :

- la pêche complète
- la pêche partielle par points.

La pêche complète est réservée aux cours d'eau entièrement prospectables à pied (profondeur < 0,7 m, valeur guide à ajuster en fonction des conditions locales), et dont la largeur moyenne en eau ne dépasse pas 8 m (+ 1 m).

La méthode la plus utilisée est celle de De Lury (DE LURY, 1947 *in* DAGET, 1971).

Elle consiste à effectuer 2 passages successifs, avec un effort de pêche rigoureusement identique, et sans remettre les poissons à l'eau entre les deux passages (ceux-ci sont stockés dans des viviers après le 1er passage). Cette méthode permet d'évaluer la population du peuplement piscicole par espèce (TANGUY & GOURDAIN, 2011).

Le nombre d'anodes est adapté à la largeur du cours d'eau : on utilise généralement une anode pour 4 - 5 m de largeur de cours d'eau et donc un nombre maximum de deux anodes. En règle générale, il est recommandé de mettre en œuvre deux épuisettes par anode, sauf dans le cas des cours d'eau les plus petits où l'utilisation d'une seule anode peut être suffisante.

La pêche partielle par points est réservée aux cours d'eau dont la largeur moyenne en eau dépasse 8 m (+ 1 m) et sont ou non entièrement prospectables à pied (profondeur > 0,7 m, valeur guide à ajuster en fonction des conditions locales). Elle est basée sur la méthode dite « échantillonnage

ponctuel d'abondance » ou EPA (Nelva *et al.*, 1979).

Cette méthode de pêche est basée sur un échantillon global constitué de deux sous-échantillons : un sous-échantillon représentatif et un sous-échantillon complémentaire :

- **sous-échantillon représentatif** - 75 points à 100 unités d'échantillonnage régulièrement réparties et composées des principaux faciès (MALAVOI & SOUCHON, 2001) et habitats de la station. Ce sous-échantillon est destiné à évaluer la composition du peuplement de la station ainsi que l'abondance relative des espèces majoritaires et leur structure de taille (TANGUY & GOURDAIN, 2011) ;
- **sous-échantillon complémentaire** - au plus 10 points choisis par l'opérateur sur des habitats peu représentatifs mais attractifs pour les poissons. Cela permet notamment de compléter la liste faunistique par la capture d'espèces rares associées à des habitats marginaux.

L'unité d'échantillonnage est ponctuelle et calibrée. Elle correspond approximativement à un déplacement de l'anode sur un cercle d'environ 1 m de diamètre autour du point d'impact, l'opérateur restant fixe. L'anode est laissée en action de pêche pendant une durée comprise entre 15 s (minimum) et 30 s (maximum).

En règle générale, la pêche électrique n'est plus opérationnelle quand la hauteur d'eau dépasse 2 m. De plus, si l'eau est très peu minéralisée, elle n'est pas opérante non plus. Cette technique présente de réels dangers pour les opérateurs ou des badauds. Elle est donc soumise à des règles strictes de sécurité, comme la présence de dispositifs d'arrêts d'urgence, de signalisation, et nécessite un équipement étanche et isolant pour les manipulateurs situés dans l'eau.

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude des poissons.

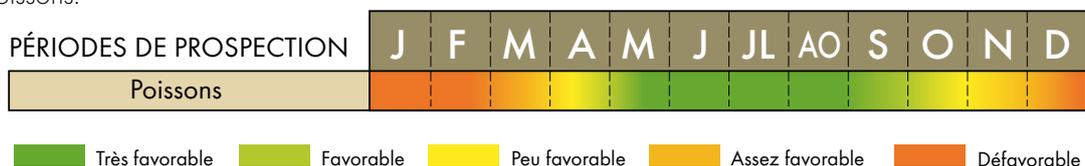


Tableau 32

Caractéristiques d'application des inventaires des peuplements de poissons

Méthode	Inventaire des peuplements de poissons		
	Filets	Postes fixes	Pêche électrique
Domaines d'application	Lacs et grands cours d'eau	Milieux aquatiques	Milieux aquatiques de profondeur < 2 m ou berges
Limites	Autorisation de capture Mauvaises captures des espèces petites et benthiques, et des petites classes de taille	Autorisation de capture Sélectif	Autorisation de capture Pas applicable à tous les cours d'eau Dangerosité
Compétences requises	+++	++	+++
Coûts	+++	++	+++

BIBLIOGRAPHIE

ANONYME - *Description des données relatives aux mesures poissons par pêche au filet des plans d'eau.* - Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'eau, 2005.

BELLIARD J., DITCHE J.M., ROSET N. - *Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons.* - 2008.

CASSELMAN J.M. et al. - *An evaluation of fish sampling methodologies for large river systems.* - Pol. Arch. Hydrobiol., 1990 - 37, p. 521-551.

DAGET J. - « L'échantillonnage des peuplements de poissons d'eau douce » In *Problèmes d'écologie. L'échantillonnage des populations animales en milieu aquatique.* Sous la direction de Lamotte M., Bourlière F. - Paris : Masson, 1971 - p. 85-108.

DE LURY D.B. - *On the estimation of biological populations.* - Biometrics, 1947 - 3(4), p. 145-167.

GRANT I.F., TINGLE, C.C.D. (eds) - *Méthodes de suivi écologique pour évaluer les effets des pesticides dans les tropiques.* - Chatham, R-U : Natural Resources Institute, 2002.

MALAVOI J.R., SOUCHON Y. - *Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques.* - 2001.

NELVA A., PERSAT H., CHESSEL D. - *Une nouvelle méthode d'étude des peuplements ichtyologiques dans les grands cours d'eau par échantillonnage ponctuel d'abondance. Compte rendu hebdomadaire des séances de l'Académie des sciences.* - Paris : 1979 - D 289, p. 1295-1298.

TANGUY A., GOURDAIN P. - *Guide méthodologique pour les inventaires faunistiques des espèces métropolitaines terrestres - Atlas de la biodiversité dans les communes (ABC).* - MNHN-MEDDTL, 2011.



25

FICHE 25

Inventaire qualitatif des amphibiens

VERTÉBRÉS



R. Lecomte (Encem)

INVENTAIRE QUALITATIF DES AMPHIBIENS

GÉNÉRALITÉS

Les 41 espèces présentes en France font l'objet d'une protection nationale. Cinq espèces figurent en annexe II et IV de la directive Habitats-Faune-Flore. Il s'agit plus particulièrement de :

- deux espèces de discoglosses limitées aux îles méditerranéennes (*Discoglossus sardus* et *Discoglossus montalentii*) ;
- une espèce cantonnée à l'extrême sud-est de la France (*Speleomantes strinatii*) ;
- deux espèces, le triton crêté (*Triturus cristatus*) et le sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*), ont une large répartition sur le territoire national.

Dans le cadre d'investigations sur des milieux humides, l'écologie de ces espèces et la relative facilité de leur échantillonnage en font de bons indicateurs de l'état général des écosystèmes. Selon les saisons, les amphibiens habitent aussi bien les milieux terrestres que les milieux aquatiques, et particulièrement les eaux temporaires.



O. Delzons

Discoglosse sarde
Discoglossus sardus

MÉTHODES

1. Approche générale

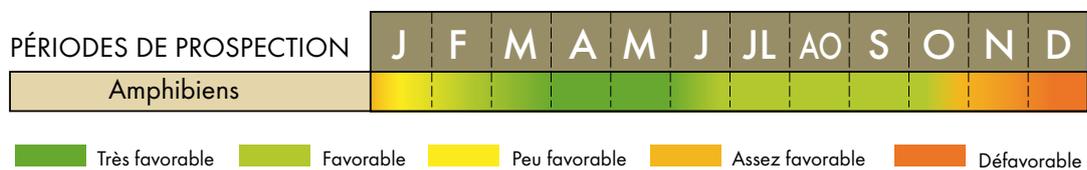
Chez la plupart des espèces d'amphibiens européens, les adultes se rassemblent pour se reproduire dans des milieux aquatiques en eau permanente ou temporaire. La forte densité des animaux, moins discrets pendant la période de reproduction, facilite le travail d'inventaire alors que sur terre leur grande discrétion, le caractère irrégulier de leur activité et la faible densité des populations rendent l'échantillonnage plus difficile.

Les **sites potentiels de reproduction** doivent être visités en priorité, ce qui permet également de repérer d'éventuelles pontes ou des larves. Celles-ci présentent l'avantage de résider plus longtemps dans l'eau que les adultes, mais sont parfois très difficiles à déterminer au-delà du genre. La présence des larves dans l'eau atteste de la reproduction de l'espèce sur le site, ce que ne permet pas la seule observation des adultes.

Tous les plans d'eau, y compris temporaires (et jusqu'aux flaques et ornières), doivent être inspectés car ils représentent des sites potentiels de reproduction pour certaines espèces pionnières ou peu exigeantes [crapaud calamite (*Bufo calamita*), sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*), salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*)].

Le choix de la **période d'échantillonnage** est crucial. Il est nécessaire de l'adapter aux périodes de reproduction de chaque espèce, souvent très restreintes et qui dépendent des conditions hydrologiques et climatiques (figure 45). En effet, la météo influe grandement sur les déplacements terrestres des amphibiens, qui apprécient un taux élevé d'hygrométrie, et sortent peu lors de froids vifs, de périodes ventées ou de sécheresse.

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour les amphibiens, en général. À noter que ce calendrier peut être différent à l'échelle de l'espèce.



De façon générale, les soirées douces et humides sont favorables à l'activité de la plupart des espèces (DUGUET *et al.*, 2003).

Une prospection nocturne est souvent nécessaire, beaucoup d'espèces étant strictement nocturnes

(pélobate cultripède, *Pelobates cultripedes*) ou plus actives après le coucher du soleil (triton marbré, *Triturus marmoratus*). Une prospection préalable de jour à des fins de repérage est souvent souhaitable.

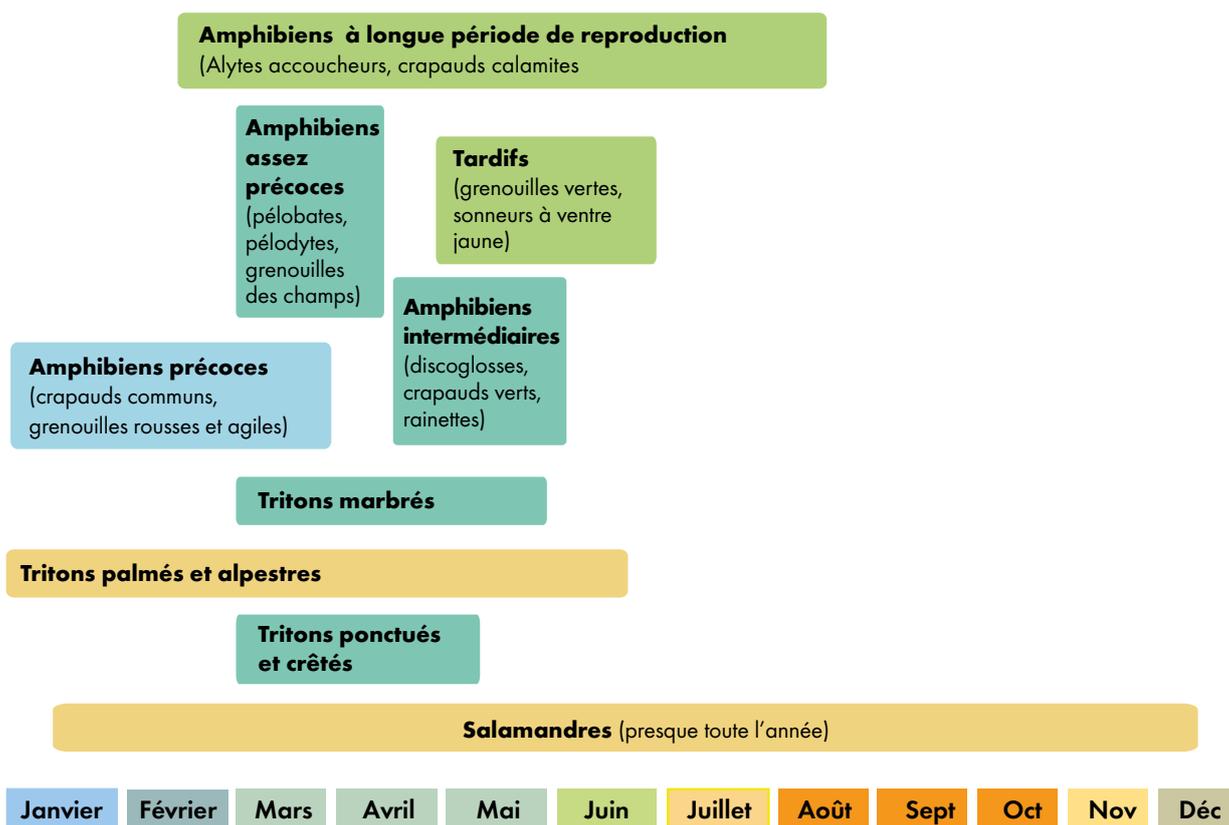
Larve de salamandre tâchetée
Salamandra salamandra
dans un abreuvoir



O. Delzons

Figure 45

Périodes de reproduction de quelques amphibiens en plaine non méditerranéenne



Deux méthodes s'offrent à l'observateur : la détection directe et la capture simple.

La détection directe consiste à rechercher les individus :

- à vue, éventuellement à l'aide de jumelles, en arpentant les milieux aquatiques mais aussi terrestres (et en inspectant des abris comme des vieilles souches ou des rochers). Lors de nuits humides, la prospection à la lampe est souvent fructueuse sur certaines routes ;
- à l'écoute : les appels nuptiaux émis par les mâles en période de reproduction permettent de différencier les espèces, et souvent de détecter des espèces par ailleurs très discrètes (pélodyte ponctué *Pelodytes punctatus*, crapaud calamite *Bufo calamita*, rainettes *Hyla* sp.). Pour la plupart des espèces, l'écoute nocturne est à privilégier.

La capture simple à l'épuisette peut être perturbante. Elle doit donc être utilisée avec prudence. Elle permet toutefois de capturer larves et adultes de nombreuses espèces. La plupart des espèces d'amphibiens étant protégées, il est absolument nécessaire, pour les manipuler, d'obtenir une autorisation de capture. De plus, il est nécessaire de désinfecter le matériel et les bottes pour éviter de propager la chytridiomycose (maladie infectieuse mortelle due à un champignon et touchant les amphibiens) dans les pièces d'eau échantillonnées (voir le protocole d'hygiène de la société herpétologique de France).

Les coûts sont relativement faibles pour les méthodes évoquées. L'inventaire simple des amphibiens est souvent réalisé conjointement avec celui d'autres groupes.

Cependant, de nombreux passages sont fréquemment nécessaires, car ces animaux



Rainette méridionale
Hyla meridionalis

O. Delzons

sont discrets et leur activité fortement liée aux conditions météorologiques. Un minimum de deux à trois visites par site (un repérage de jour + deux passages nocturnes en milieu et fin de saison

de reproduction) doit suffire pour inventorier une majorité d'espèces. Une estimation de la taille des populations nécessitera une étude plus poussée [fiche 34].

Tableau 33 Caractéristiques d'application de l'inventaire des amphibiens

Méthodes	Inventaire des amphibiens	
	Détection directe	Capture simple
Domaines d'application	Tous les milieux	Zones humides
Limites	Selon la météo et l'écologie de chaque espèce Nécessité d'un passage nocturne	Autorisation nécessaire Perturbation du milieu et des amphibiens Détermination des larves souvent difficile
Compétences requises	++ en herpétologie	+++ en herpétologie
Coûts	+ et selon le nombre de passage	++ et selon le nombre de passage

2. Approche par espèce : l'exemple du triton crêté

Le triton crêté, *Triturus cristatus*, est une espèce patrimoniale avec un cycle de vie particulier. Les adultes pondent dans les mares, où se développent ensuite les larves. Celles-ci sortent ensuite de l'eau et chassent comme les adultes à proximité de leurs refuges estivaux. L'hiver, les tritons se dissimulent dans des abris souterrains.

La bonne connaissance des cycles de vie de cette espèce est donc indispensable pour cibler les zones à prospecter (figure 45).

3. Les zones d'études

De nuit, il est possible d'observer les tritons adultes en train de parader dans les espaces dénués de végétation.

De jour, les stades jeunes (œufs, larves et juvéniles) peuvent être observés directement sur les sites de reproduction des tritons. Ces observations des stades jeunes permettent également de prouver la reproduction du triton sur le site. Les larves aquatiques sont plus faciles à inventorier que les

stades terrestres. Au cours de leur croissance, les larves utilisent différemment l'espace de la mare, quittant peu à peu les herbiers pour l'eau libre. Selon les périodes de l'année, GROSSI *et al.* (2010) préconisent des méthodes d'investigation adaptées. Ceci permet de maximiser les chances de capture, tout en respectant les stades les plus fragiles (voir figure 46).

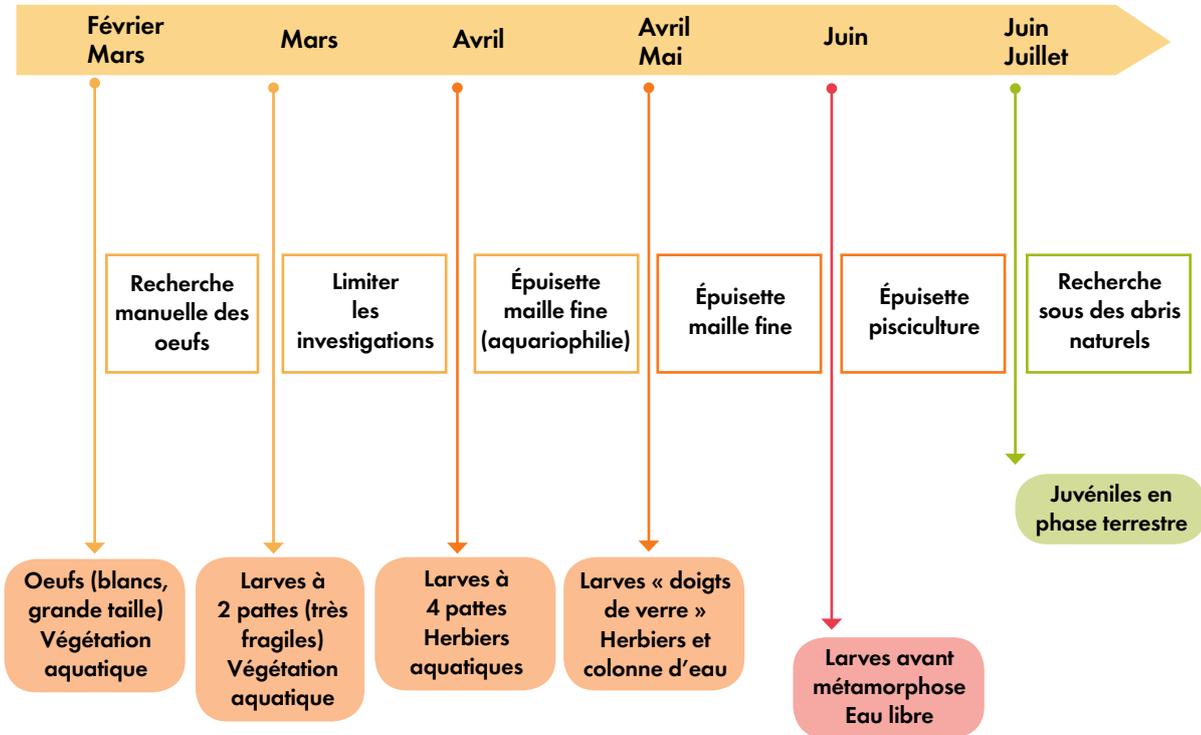


P. Gourdain (MNHN/SPN)

Triton crêté femelle - *Triturus cristatus*

Figure 46

Adaptation des protocoles d'investigation du triton crêté en fonction des stades de développement



BIBLIOGRAPHIE

DUGUET R., MELKI F. - *Les amphibiens de France, Belgique et Luxembourg*. - Mèze, France : Biotope, 2003 - Collection Parthénope.

GROSSI J.L. et al. - *Les mares prairiales à triton crêté - Cahier technique*. - Grenoble : AVENIR, Conservatoire des espaces naturels de l'Isère, 2010.
<http://lashf.fr/>



26

FICHE 26

Quantification des amphibiens

VERTÉBRÉS

O. Delzons



QUANTIFICATION DES AMPHIBIENS

GÉNÉRALITÉS

Suite au recensement des espèces d'amphibiens [fiche 25], l'estimation de la taille d'une population nécessite un nombre de visites plus élevé. La connaissance préalable des espèces présentes sur la zone d'étude permet de choisir la ou les méthodes les mieux adaptées.



O. Delzons

Émergence de jeunes amphibiens (grenouilles vertes et crapauds calamites)

MÉTHODES

Comptage des pontes

Le comptage des pontes peut fournir une indication précise sur le nombre de femelles reproductrices et éventuellement sur la population totale. Cette méthode permet d'estimer :

- l'effectif des femelles reproductrices dans le cas où il est possible de dénombrer distinctement les pontes, ce qui n'est pas toujours réalisable,

par exemple, pour le crapaud commun ;

- l'effectif total de la population, dans le cas où on dispose de ratio d'extrapolation.

Cette méthode est particulièrement pertinente pour les espèces avec une période de reproduction courte comme la grenouille rousse (ses pontes sont regroupées en quelques frayères sur

le bord des plans d'eau). Elle est moins adaptée pour des espèces à reproduction étalée comme le crapaud calamite, chaque femelle ne pondant qu'après un épisode pluvieux.

Dans tous les cas, il convient de s'adapter au cycle biologique, notamment à la période de reproduction, de l'espèce inventoriée.

Comptage d'individus le long d'un itinéraire standard

Le comptage peut permettre d'estimer des effectifs et de réaliser des comparaisons d'un site à l'autre et d'un passage à l'autre. Pour cela, il doit être standardisé (longueur du transect, milieu homogène ou non) et réalisé par le même observateur.

Il peut s'agir d'un itinéraire fixe, en quadrillage, en bandes, ou au hasard (l'observateur tire au hasard un azimut à chaque changement de direction). Pour obtenir un échantillon statistiquement comparable, il est nécessaire de répéter de nombreuses fois le comptage, en prenant en compte la météo et l'heure de passage.

La dépose d'abris artificiels sur cet itinéraire peut augmenter significativement l'efficacité et la fiabilité de cette méthode.

Comptage des mâles chanteurs (audio-transect ou points fixes d'écoute)

Le comptage des appels nuptiaux le long d'un itinéraire standardisé permet de connaître les effectifs des mâles, et d'estimer ensuite les abondances relatives. Pour cela il est nécessaire de prendre en compte une bande d'échantillonnage de largeur égale à la portée maximale du chant d'un mâle.

La présence de mâles qui ne chantent pas entraîne une sous-estimation de l'effectif réel.

La pertinence de cette méthode varie en fonction du milieu et de l'espèce. Par exemple, un audio-transect en milieu peu accessible ne permettra pas d'échantillonner correctement des espèces dont le chant porte peu (sonneur à ventre jaune). À l'inverse, les regroupements très sonores de mâles chantant à tue-tête (crapaud calamite) rend difficile un dénombrement uniquement basé sur le chant.

Les écoutes de mâles chanteurs peuvent également être réalisées à partir de points fixes, ce qui limite

le dérangement créé par l'observateur parcourant un transect à pied et permet ainsi d'augmenter les chances de contact.

Par ailleurs, des méthodes d'estimation basées sur le nombre de mâles chanteurs identifiés existent pour de nombreux amphibiens tels que la grenouille verte (GOLAY N. 1996 cité par LUSTRAT 2006) :

- nombre de mâles maximum : nombre de mâles chanteurs divisé par 0,4 ;
- nombre de mâles minimum : nombre de mâles chanteurs divisé par 0,5 ;
- nombre de femelles maximum : nombre de mâles maximum multiplié par 1,3 ;
- nombre de femelles minimum : nombre de mâles minimum multiplié par 1.



Crapaud calamite - *Bufo calamita*

Session de pêche

• Session de pêche standardisée

Un protocole de pêche à l'épuisette ou à la senne, établi en quantifiant l'effort de pêche (nombre de coups d'épuisette, microhabitats prospectés) permet d'obtenir des données standardisées et donc reproductibles et comparables.

• Les nasses

Des systèmes de nasses peuvent être utilisés pour capturer en particulier les larves, mais aussi les adultes passant beaucoup de temps dans l'eau comme les tritons. Il faut dans ce cas prévoir un système leur permettant de respirer à l'air libre.

• L'échantillonnage ponctuel d'abondance

Des pêches, généralement à l'épuisette, sont réalisées sur des points choisis de manière aléatoire, ou selon un plan d'échantillonnage stratifié [fiche 1]. À partir de ces relevés, on peut extrapoler la taille de l'effectif total.

Pots-pièges ou pitfall trap

Les pots-pièges figure 33 sont des cylindres (seaux de 20 litres, tubes de pvc, boîtes de conserve) à fond percé pour faciliter le drainage, enterrés de telle sorte que leur ouverture se trouve à ras du sol. Les amphibiens tombent dedans et y restent bloqués, souvent canalisés par une barrière verticale infranchissable (une bâche par exemple). Les pièges doivent être recouverts par un couvercle n'obstruant pas l'accès, ou remplis en partie de litière (feuilles) afin de protéger les amphibiens des prédateurs et des rayons du soleil.

Les pots-pièges, déposés à chaque point d'une grille fictive, permettent d'estimer la densité d'une population si à cette technique est jointe une technique de capture-marquage-recapture.

Là aussi, des variations dans l'efficacité de la

capture seront constatées selon que l'on piège des espèces marcheuses (crapaud commun) ou des espèces sauteuses (grenouilles) ou grimpeuses (rainettes).

• Pots-pièges associés à des barrières

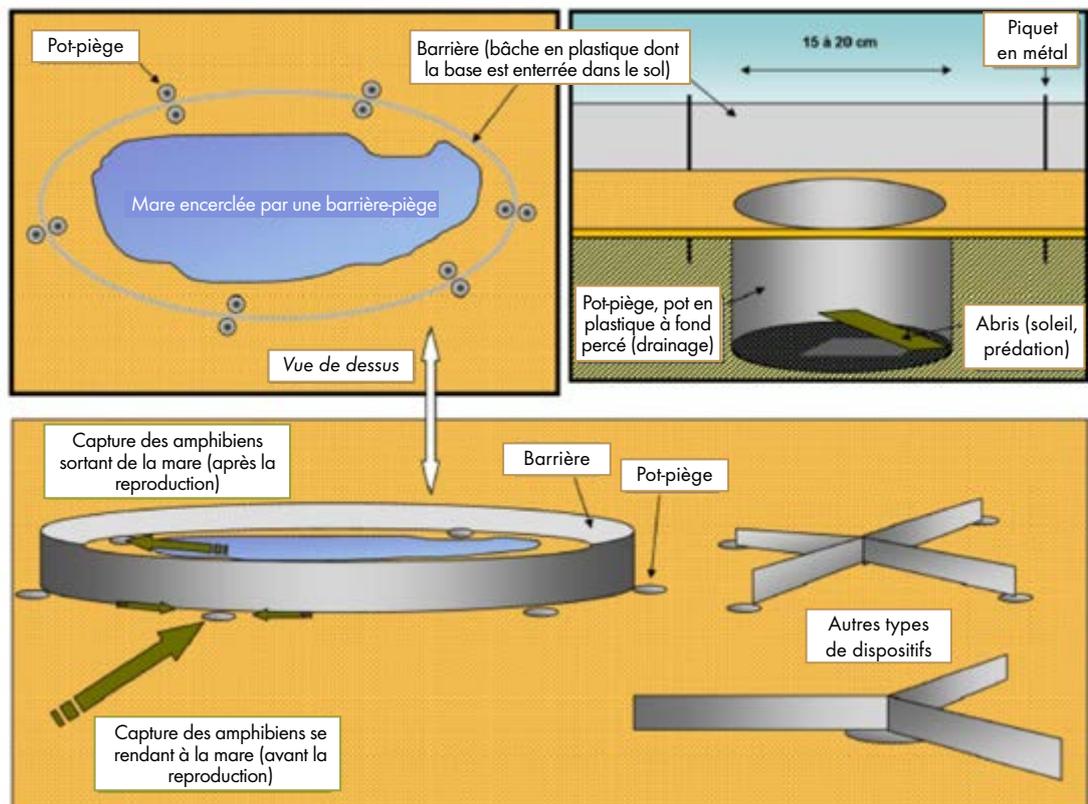
Ils sont couramment utilisés près des routes pour intercepter des animaux en migration. Cette méthode fournit des informations sur l'évolution des effectifs d'une année sur l'autre.

• Encerclement d'un site de reproduction par une barrière-piège

Ce système possède l'immense avantage de capturer l'ensemble des individus et de connaître les modalités de leurs déplacements vers la mare puis vers leurs sites d'estivation ou d'hivernage. Il est particulièrement lourd à mettre en place.

Figure 47

Schéma d'un pot-piège et exemples de dispositifs utilisés



Quadrats

Le quadrat est délimité avec précision. Un réseau de sentes plus ou moins parallèles, et se coupant à angle droit, est ensuite pérennisé à l'intérieur. La distance entre les sentes doit permettre une

investigation visuelle et/ou auditive totale de la parcelle. L'observateur parcourt le quadrat en notant toutes les espèces rencontrées, et en les localisant sur une carte. Ce parcours est réalisé à plusieurs dates différentes.

Capture-marquage-recapture

Cette méthode [fiche 3] est précieuse dans les études de suivi car, en plus de l'évaluation de la taille des populations, elle permet l'estimation de paramètres démographiques comme la natalité, la mortalité, l'immigration, l'émigration ou le taux de survie, les types d'utilisation de l'espace, ou encore le taux de croissance de l'espèce. Les marques sur les amphibiens peuvent être pérennes ou temporaires.

Citons par exemple :

- l'ablation des doigts ou des orteils ;
- le marquage à froid ou à chaud ;

- le tatouage ;
- l'injection sous-cutanée d'une puce électronique à code individuel ;
- la reconnaissance de patrons de coloration d'après photographie (par exemple les motifs ventraux de sonneur à ventre jaune ou de triton crêté).

Toutes les techniques vulnérantes doivent se faire sous anesthésie, et sans perdre de vue que ces méthodes blessent, voire peuvent tuer les amphibiens.



Rainette méridionale
Hyla meridionalis

O. Delzons



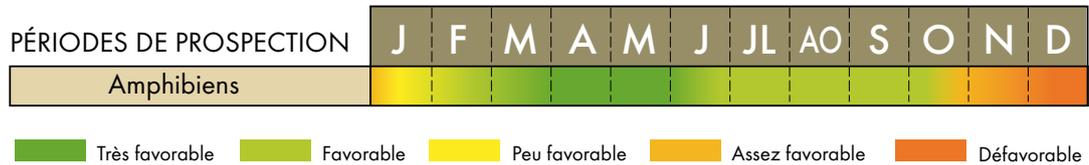
Crapaud commun - *Bufo bufo*

Tableau 34

Caractéristiques d'application des différentes méthodes de quantification des populations d'amphibiens

Quantification des amphibiens							
Méthodes	Comptage des pontes	Comptage d'individus le long d'un itinéraire standard	Comptage des mâles chanteurs (audio-transect)	Session de pêche	Pots-pièges ou pitfall trap	Quadrats	Capture-marquage-recapture (CMR)
Domaines d'application	Zones humides	Tous les milieux	Tous les milieux	Zones humides	Zones humides	Tous les milieux	Zones humides
Limites	Espèces à pontes groupées et/ou typiques	Espèces terrestres chassant à découvert et aquatiques. Détermination des larves souvent difficile	Anoues seulement Variables selon les espèces, leur période de chant...	Autorisation de capture Espèces à séjour long dans l'eau et larves Identification des larves	Autorisation de capture Certaines espèces Protocole très lourd	Espèces terrestres chassant à découvert Protocole lourd	Autorisation de capture Protocole lourd
Compétences requises	+	++	++	+++	++	++	+++
Coûts	+	+	++	++	+++	+++	+++

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour étudier les amphibiens.



BIBLIOGRAPHIE

ARNOLD N., OVENDEN D. - *Le guide herpéto.* - Delachaux et Niestlé, 2004.

DRECHSLER A. *et al.* - *Ortmann's funnel trap - a highly efficient tool for monitoring amphibian species.* - Herpetology Notes, 2010 - 3, p. 13-21.

EKHOUT X. - « *Sampling reptiles and amphibians* » In *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring*, sous la direction de Eymann J. *et al.* - Abc Taxa, 2010 - 8(2), p. 530-557.

FLAVENOT T. - *Évaluation de l'effet des carrières de granulats sur la connectivité du paysage.* - Paris : Thèse de doctorat - Muséum national d'Histoire naturelle. 2014.

GRANT I.F., TINGLE, C.C.D. (eds) - *Méthodes de suivi écologique pour évaluer les effets des pesticides dans les tropiques.* - Chatham, R-U : Natural Resources Institute, 2002.

HEYER W.R. *et al.* - *Measuring and monitoring biological diversity - Standards methods for amphibians.* Washington and London : Smithsonian Institution Press, 1994.

GOLAY N. - *Die Kreuzkröte (Bufo calamita) Laur. Als. Pionirart.* - Philosophisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Basel, 1996.

LUSTRAT P. - *Suivi des populations d'amphibiens rares dans la plaine de Sorques (77).* - 2006.

Voir également le site Internet de la Société Herpétologique de France : <http://lashf.fr/>





27

FICHE 27

Les reptiles

VERTÉBRÉS



R. Lecomte (Encem)

LES REPTILES

GÉNÉRALITÉS

Les espèces de reptiles sont pour la plupart des espèces discrètes, qui passent le plus clair de leur temps dissimulées, avec de longues périodes de digestion et des phases d'inaction (hivernage et estivation). C'est un groupe assez peu étudié lors de la plupart des inventaires, en raison surtout de la difficulté d'obtenir une bonne image de la richesse spécifique* et des densités.

Toutes les espèces sont protégées en France, et beaucoup possèdent un réel intérêt patrimonial.

Parmi celles figurant en annexe II de la directive Habitats-Faune-Flore, la plupart ont une aire de répartition restreinte : le lézard des Pyrénées *Iberolacerta bonnali*, endémique* de cette chaîne montagneuse, ou espèces méditerranéennes comme la tortue d'Hermann *Testudo hermanni*,

l'émyde lépreuse *Mauremys leprosa*, le phyllodactyle d'Europe *Euleptes europaea*, et la vipère d'Orsini *Vipera ursinii*. Par contre, la cistude d'Europe (*Emys orbicularis*), tortue aquatique fréquentant une grande variété de zones humides, a une répartition plus large en France.

Lézard vert - *Lacerta bilineata*

P. Gourdain (MNHN/SPN)

MÉTHODES

Il existe peu de **méthodes simples standardisées d'échantillonnage**.

Dans tous les cas, la période de prospection la plus favorable est comprise entre mars et juin, puis de septembre

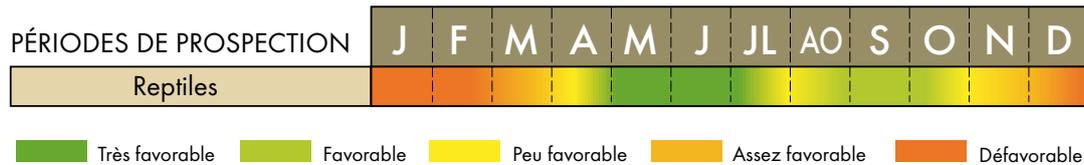
à octobre selon les régions, et de manière plus générale lors du réchauffement printanier, puis après les grandes chaleurs estivales.

Un **parcours sur l'ensemble des habitats, en inspectant systé-**

matiquement les abris offerts par les pierres, les souches ou les cavités, permet d'avoir une idée des espèces fréquentant le site, en premier lieu les espèces très mobiles (sauriens comme le lézard

des murailles, *Podarcis muralis*), ou relativement visibles (tortue d'Hermann). Cela reste tout de même très aléatoire, et ne permet en aucun cas de prétendre à une prospection exhaustive.

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour étudier les reptiles.



L'attrait des reptiles pour les zones chaudes facilite leur observation, et donc leur échantillonnage. Ceci est particulièrement valable au commencement des journées de printemps..

On peut inciter les reptiles à s'installer sous des plaques judicieusement placées : tôles métalliques, plaques de verre recouvertes de moquette, voire bâches ou bandes transporteuses, ... d'environ 1 mètre carré.

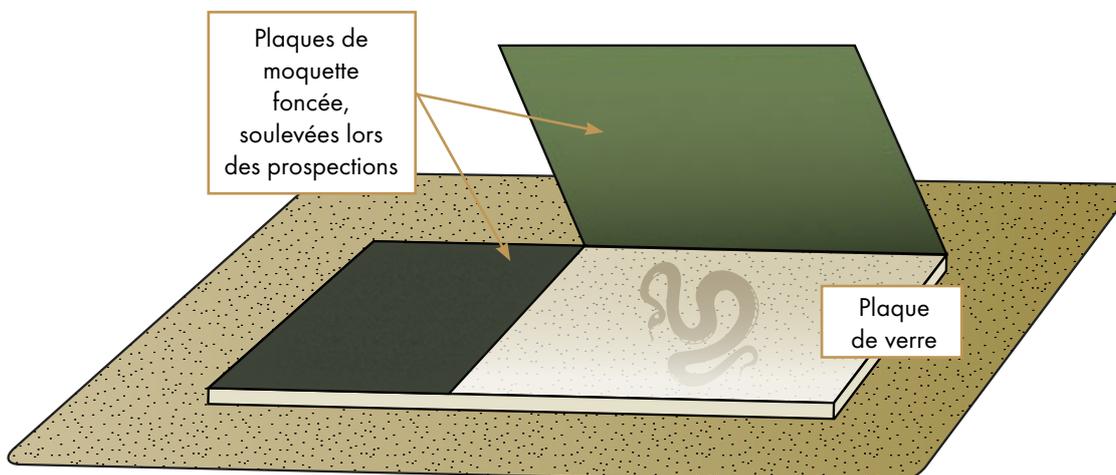
L'opérateur les dispose dans des zones exposées au soleil, (lisières, bordures de haies, mosaïques d'habitats...). Il les relève à intervalles réguliers et note les reptiles présents (VACHER J.-P. et al., 2010).

Orvet fragile - *Anguis fragilis*



Figure 48

Schéma d'un abri artificiel où viennent se réfugier les reptiles, attirés par la chaleur emmagasinée sous la plaque de moquette de couleur foncée. En soulevant celle-ci, l'opérateur peut contrôler la présence de reptiles sans les déranger (d'après FIERS, 2004)



La présence des reptiles sous les plaques correspond généralement aux périodes de moindre activité (digestion, gestation...), ou aux conditions thermiques extrêmes poussant les reptiles à chercher un abri (fortes chaleurs, refroidissement brutal après une pluie,...) (NIEDERLENDER in FIERS, 1995).

Cette méthode permet de déceler aussi bien des espèces mobiles et souvent visibles, que des espèces plus discrètes car fouisseuses comme l'orvet *Anguis fragilis*.

Le recours à des abris artificiels (GRAITSON & NAULLEAU, 2005) favorise fortement la détection d'au moins cinq espèces : orvet, couleuvre verte et jaune *Hierophis viridiflavus*, coronelle lisse *Coronella austriaca*, couleuvre d'Esculape *Zamenis longissimus* et couleuvre à collier *Natrix natrix*. Cette méthode permet la détection d'individus juvéniles bien plus souvent qu'en prospection visuelle classique. La fréquentation des abris augmente les premières années. Elle met en évidence un grand nombre d'espèces sans être systématiquement exhaustive.

Dans certains cas, des méthodes de capture-marquage-recapture [fiche 3] peuvent être utilisées. Par exemple pour l'étude d'une tortue (espèce peu mobile et visible), des visites régulières du site étudié sont effectuées suivant un horaire adapté au rythme d'activité des animaux (en moyenne, une sortie par semaine, de mars à novembre). L'observateur parcourt le site, le plus

silencieusement possible, en utilisant au maximum les chemins. Les tortues sont détectées au bruit, à la vue..., puis marquées et relâchées au même endroit. À chaque nouvelle session de capture, les individus capturés sont recensés, en différenciant ceux déjà marqués des autres. Le nombre d'individus marqués, par rapport au nombre d'individus non marqués capturés, permet d'estimer la taille de la population totale.

Pour des animaux plus mobiles que les tortues terrestres, des méthodes de capture, assez similaires à celles utilisées pour les amphibiens ou les poissons (filets verveux, pièges, nasses,

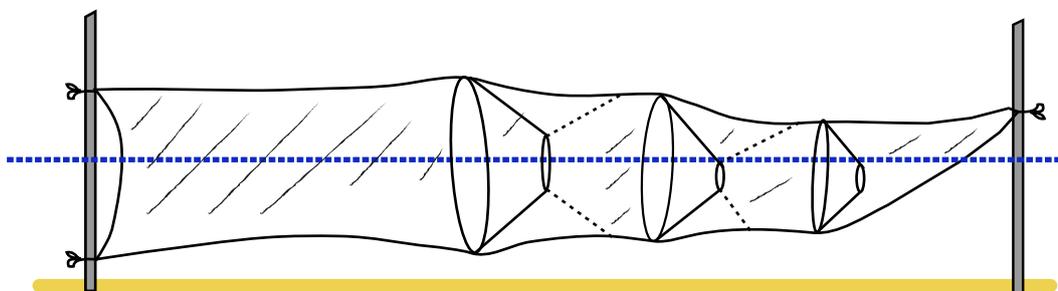


P. Gourdain (MNHN/SPN)

Couleuvre à collier - *Natrix natrix*

senes) permettent de capturer les individus afin de les marquer.

Figure 49 Verveux utilisé pour la capture des cistudes



Des marques peuvent être effectuées en limant une encoche sur les écailles marginales de la carapace (tortues), en incisant des écailles ventrales (serpents, grands lézards)...

D'autres techniques sont utilisées pour connaître les sites de ponte, comme des pièges à empreintes ou du radio-tracking, pour repérer les axes de déplacement des femelles prêtes à pondre (LEVADOUX, 2004).

Cistude d'Europe
Emys orbicularis

O. Delzons

Tableau 35

Caractéristiques d'application des méthodes d'inventaire des reptiles

Méthodes	Inventaire des reptiles		
	Observation directe	Plaques	Capture
Domaines d'application	Tous les milieux	Milieux assez ouverts	Tous les milieux
Limites	Très variable suivant les espèces, les milieux et les saisons	Meilleure image du peuplement, mais nécessite souvent l'observation directe en plus	Espèce cible Variable selon la piégeabilité de l'espèce Protocole lourd
Compétences requises	++ en herpétologie	++ en herpétologie	++ en herpétologie et piégeage
Coûts	+	++	+++

BIBLIOGRAPHIE

ANONYME - *Protocole d'inventaire des serpents du Parc Naturel Régional de la Haute Vallée de Chevreuse - Bilan 2006* - Parc Naturel Régional de la Haute Vallée de Chevreuse, 2006.

ARNOLD N., OVENDEN D. - *Le guide herpéto.* - Delachaux et Niestlé, 2004.

CARON J., RENAULT O., LE GALLIARD J.F. - *Proposition d'un protocole standardisé pour l'inventaire des populations de reptiles sur la base d'une analyse de deux techniques d'inventaire.* - Bull. Soc. Herp. Fr., 2010 - 134, p. 3-25.

ECKHOUT X. - « *Sampling reptiles and amphibians* » In *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring*, sous la direction de Eymann J. et al. - Abc Taxa, 2010 - 8(2), p. 530-557.

FIERS V. - *Guide pratique - Principales méthodes d'inventaire et de suivi de la biodiversité.* - RNF, 2004.

GRAITSON E., NAULLEAU G. - *Les abris artificiels : un outil pour les inventaires herpétologiques et le suivi des populations de reptiles.* - Bull. Soc. Herp. France, 2005 - 115, p. 5-22.

GRANT I.F., TINGLE, C.C.D. (eds) - *Méthodes de suivi écologique pour évaluer les effets des pesticides dans les tropiques.* - Chatham, R-U : Natural Resources Institute, 2002.

LEVADOUX D. - *Identification des sites de ponte de la population de Cistudes d'Europe sur la zone Natura 2000 de l'embouchure du Rizzanese.* - Conservatoire Régional des Espaces Naturels de Corse, 2004.

VACHER J.P., GENIEZ M. - *Les Reptiles de France, Belgique, Luxembourg et Suisse.* - Mèze : Biotope, 2010. - Collection Parthénope.

Voir également le site Internet de la Société Herpétologique de France : <http://lashf.fr/>



28

FICHE 28

Inventaire qualitatif des oiseaux

VERTÉBRÉS



B. Frochet

INVENTAIRE QUALITATIF DES OISEAUX

GÉNÉRALITÉS

Quel que soit le type de milieux naturels étudiés, une attention particulière est généralement portée en priorité à la flore et aux oiseaux.

En effet, en complément de l'étude de la flore, qui donne des indications sur les conditions situationnelles [fiche 7], l'étude de l'avifaune* fournit des renseignements sur la richesse de l'écosystème* et la structure du paysage. Cependant, ayant de grands domaines vitaux et de grands territoires de reproduction, les oiseaux sont des indicateurs d'autant plus pertinents que les sites à caractériser sont de grande superficie.

Les oiseaux sont de plus présents sur la totalité du territoire, et très bien connus par beaucoup d'aspects de leur biologie et de leur écologie. Enfin, leur étude peut se faire de manière simple : la très grande majorité des espèces peut être repérée à l'œil nu ou à l'aide de jumelle, et à l'oreille, en se déplaçant ou à point fixe. Ces observations doivent être réalisées à des saisons déterminées et à des heures variées (à l'aube très souvent, mais parfois au crépuscule, voire en pleine nuit selon les espèces).

MÉTHODES

L'inventaire le plus simple, décrit dans cette fiche, consiste à lister les espèces d'oiseaux nicheuses sur le site, ainsi que celles utilisant le site hors nidification. Au sein de ces listes, on pourra mettre en valeur la présence d'espèces

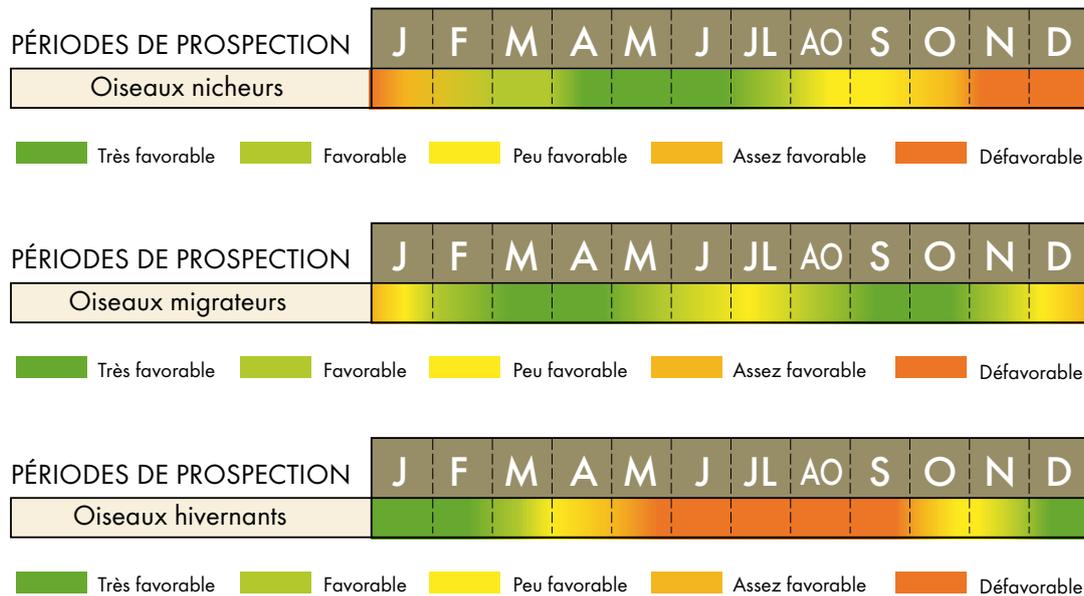
à valeur patrimoniale particulière ou bénéficiant d'un statut juridique de protection. Les inventaires plus poussés, permettant par exemple d'obtenir des données chiffrées, font l'objet d'une autre fiche [fiche 29].



O. Delzons

Traquet moiteux
Oenanthe oenanthe

Les calendriers ci-dessous précisent les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude des oiseaux.



Dans un premier temps, les informations disponibles dans **la bibliographie** ou **les banques de données** permettent de connaître le cortège d'espèces susceptibles d'être rencontrées, en fonction des milieux naturels présents.

Le recours à certains documents est quasiment systématique, comme le zonage des ZPS (Zones de Protection Spéciale, établies grâce à la directive Oiseaux de 1979 pour préserver les oiseaux et leurs habitats), le zonage Natura 2000*, les ZNIEFF.

L'opérateur peut consulter aussi les listes rouges régionales, et les ressources disponibles auprès d'organismes tels que les Parcs naturels régionaux, l'Office national de la Chasse et de la Faune sauvage, ou encore les associations de naturalistes.

Selon un plan d'échantillonnage, différent de celui utilisé pour la végétation, conçu à l'échelle des domaines vitaux des oiseaux, la liste des espèces est établie sur le terrain selon les modalités suivantes.

Lors du parcours systématique de tous ces espaces, l'observateur note toutes les espèces rencontrées (vues ou entendues) ou d'éventuels signes de présence (plumes, nids, coquilles d'œufs, pelotes de réjection, fientes).

Deux passages au minimum sont effectués, le premier avant le 20 mai (et à partir de fin mars à début avril, selon les régions) et le second après le

20 mai (jusqu'à mi-juillet maximum), pour prendre en considération les espèces précoces et les espèces tardives. Certaines espèces ne chantent en effet que brièvement dans l'année, et cessent de le faire par exemple lors du nourrissage des jeunes. Les heures de passage sont aussi très importantes, les oiseaux ne chantant pas de manière homogène tout au long du jour. Le « concert matinal », au printemps, a lieu tous les jours dès avant l'aube, et se prolonge plus ou moins longtemps selon les espèces. Au zénith solaire, seules quelques espèces chantent encore. Et certaines espèces ne chantent qu'à partir du crépuscule comme l'engoulevent, ou à la nuit tombée comme les chouettes.

Enfin, les conditions météorologiques influent aussi sur les émissions sonores des oiseaux.

Le respect des heures et des périodes de passage est donc primordial, et nécessite de bien connaître les espèces pour affiner les diagnostics.

Par exemple, l'œdicnème criard est une espèce patrimoniale, inscrite notamment sur la directive Oiseaux. Cet oiseau discret passe sa journée à terre, mimétique sur les sols nus ou peu végétalisés qu'il affectionne. Il peut se rencontrer notamment sur les sols remaniés des carrières et des gravières, mais passe facilement inaperçu dans la journée. Pourtant cet oiseau nocturne, au cri puissant et caractéristique, ne manque pas de se signaler dès la tombée du jour, ce qui permet facilement d'établir sa présence.



O. Delzons

▲ Sablière abritant une colonie mixte d'oiseaux : guêpiers d'Europe (gros orifices) et hirondelles de rivage (petits orifices)



O. Delzons

▲ Guêpier d'Europe
Merops apiaster



O. Delzons

Hirondelle
de rivage
Riparia riparia ▶

Les différents indices de nidification sur le site sont aussi notés, car ils témoignent de son utilisation à un moment clé du cycle des espèces. On distingue trois indices de nidification :

Nidification possible

- oiseau vu en période de nidification dans un milieu favorable ;
- mâle chantant en période de reproduction.

Nidification probable

- couple en période de reproduction, chant du mâle répété sur un même site ;
- territoire occupé ;
- parades nuptiales ;
- sites de nids fréquentés ;
- comportements et cris d'alarme ;
- présence de plaques incubatrices sur un oiseau tenu en main.

Nidification certaine

- construction et aménagement d'un nid ou d'une cavité ;
- adulte simulant une blessure ou cherchant à détourner un intrus ;

- découverte d'un nid vide ou de coquilles d'œufs ;
- juvéniles non volants ;
- nid fréquenté inaccessible ;
- transport de nourriture ou de sacs fécaux ;
- nid garni (œufs) ;
- nid garni (poussins).

Les espèces patrimoniales [annexe A] sont mises en avant dans la liste d'espèces ainsi obtenue. Il s'agit notamment des espèces citées sur l'annexe I de la directive Oiseaux, sur la directive Habitats-Faune-Flore, sur les listes rouges nationales ou régionales. Le statut d'« espèce protégée » n'est généralement pas suffisant pour les oiseaux, des espèces très communes (mésange charbonnière, rouge-gorge, etc.) en bénéficiant au même titre que des espèces rarissimes.

Selon les milieux, certaines espèces patrimoniales peuvent être recherchées plus particulièrement, si leur présence est connue dans le secteur, ou soupçonnée selon les potentialités du site. Les milieux habituels de ces espèces sont alors prospectés plus soigneusement (inspection des

parois pour détecter les espèces rupestres par exemple), en observant certains comportements propres à chaque espèce, ou en favorisant, par exemple, des passages à des heures appropriées (passages en soirée pour les chants d'engoulevants ou de rapaces nocturnes).

L'emploi de repasses sonores est dans certains cas nécessaire. Il s'agit de la rediffusion en milieu naturel d'un chant ou cri d'oiseau préenregistré, qui entraîne très souvent une réponse des individus de la même espèce présents sur le site (par exemple pour le râle des genêts, espèce très discrète et très rare). Cette méthode est à utiliser avec modération car elle crée un dérangement non négligeable pour les oiseaux.

D'autre part, et toujours selon les potentialités de la zone étudiée, les autres éventuelles fonctionnalités du site pour l'avifaune sont à rechercher, par exemple comme zone de parade

(tétrasyllabe), zone de chasse pour les rapaces, de rassemblement postnuptial (œdicnème criard), de halte migratoire ou d'hivernage.

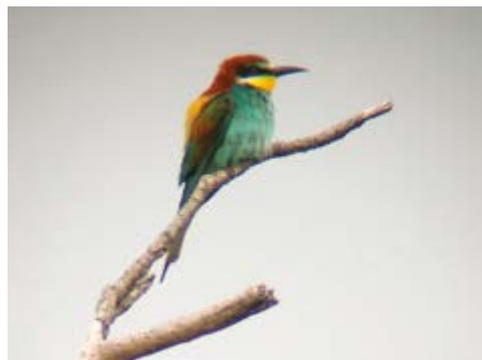
Si le site présente des potentialités pour l'accueil des oiseaux hors période de nidification, un ou plusieurs passages supplémentaires sont alors nécessaires, à d'autres saisons. Par exemple, un étang mis en partie en assec l'automne et découvrant de larges vasières est attractif pour les limicoles*, qui y seront recherchés en particulier aux passages migratoires. D'autres oiseaux, comme les canards, peuvent résider sur le même site en hiver. Ils seront comptés au cœur de la saison froide (mi-janvier).

Une quantification des espèces fréquentant le site peut être envisagée, en mettant en œuvre différentes méthodes, pour obtenir un dénombrement des oiseaux présents [fiche 29].

Tableau 36 Caractéristiques d'application de l'inventaire des oiseaux

Méthode	Inventaire des oiseaux
Domaines d'application	Tous les milieux
Limites	Pas de quantification possible
Compétences requises	Bonne connaissance technique en ornithologie, et notamment connaissance de l'ensemble du répertoire vocal (chants et cris) des espèces potentiellement présentes sur le site d'étude, des variations de leur comportement (mâle chanteur, individu isolé)
Coûts	Il faut compter une demi-journée de terrain pour chaque passage, soit au minimum deux demi-journées, plus des journées supplémentaires de prospection, suivant les caractéristiques du site et les espèces potentiellement en présence. Voir le tableau comparatif avec d'autres méthodes [fiche 29]

Guêpier d'Europe
Merops apiaster



P. Gourdain (MNHN/SPN)



29

FICHE 29

Quantification des oiseaux

VERTÉBRÉS



B. Frochoi

QUANTIFICATION DES OISEAUX

GÉNÉRALITÉS

En plus de la prospection qualitative, qui fournit la liste des espèces d'un peuplement d'oiseaux, il est possible de quantifier les données, en estimant l'abondance des individus selon des protocoles adaptés.

Cette quantification prend tout son intérêt dans le cadre d'études comparatives, entre plusieurs sites ou diverses années ; elle permet de mesurer les différences d'abondance au sein de chaque espèce et entre espèces, de comparer objectivement des richesses spécifiques, d'obtenir des indices de diversité...

Les différentes approches décrites donnent une image plus ou moins fidèle de l'avifaune présente. Cependant, un inventaire sous-estime souvent le nombre d'oiseaux vivant réellement sur le site.



O. Delzons

Busard des roseaux
Circus aeruginosus

MÉTHODES

Tableau 37

Méthodes	IPA (Indice ponctuel d'abondance)	IKA (Indice kilométrique d'abondance)	EFP (Échantillonnage fréquentiel progressif)	Quadrat (cartographie des territoires)	Capture- recapture [fiche 31]
Type de méthodes	relative (nombre de couples de l'espèce recensés depuis un point en 20 minutes)	relative (nombre de couples recensés le long d'un km linéaire)	relative et en fréquence (présence/absence de l'espèce depuis un point en 20 minutes)	absolue (nombre d'oiseaux nicheurs au km ²)	absolue
Surface recensée	autour du point d'écoute, sans limite de distance	le long d'un trajet rectiligne, sans limite de distance	autour du point d'écoute, sans limite de distance	sur un échantillon de superficie délimitée	sur un échantillon de superficie délimitée
Normalisation	normalisation IBCC (1977)			normalisation IBCC*	
Nombre de relevés	2 relevés par an par station	2 relevés par an par trajet	1 relevé par an par station	8 à 10 selon le milieu	variable
Oiseaux étudiés	nicheurs	nicheurs	nicheurs	nicheurs non grégaires	nicheurs et non nicheurs mais stationnaires
Limites de l'étude	<ul style="list-style-type: none"> observateur de forte compétence saturation de l'indice aux fortes densités 	<ul style="list-style-type: none"> milieu homogène et chemin rectiligne sur 800 à 1000 m la vitesse doit rester constante observateur de forte compétence 	<ul style="list-style-type: none"> nombre de points importants milieu homogène ou non, de vaste superficie observateur de forte compétence 	<ul style="list-style-type: none"> nombre important de relevés mise en place d'un quadrillage 	<ul style="list-style-type: none"> dilution nécessaire des individus accoutumance aux pièges besoin d'un grand nombre de captures
Type d'échantillonnage pour un milieu étudié	une dizaine de comptages de deux fois 20 minutes, sur des points distants d'au moins 300 m l'un de l'autre	plusieurs trajets le long de chemins existants, distants de plus de 300 m	nombreux points contacts de 20 minutes, distants de plus de 300 m	cartographie des territoires sur au moins 10 à 20 ha, ou plus selon les espèces	capture et marquage des espèces accessibles
Temps nécessaire	4 à 5 comptages de 20 minutes par matinée, à deux reprises dans la saison	1 heure par parcours, à deux reprises dans la saison	1 à 10 heures pour 100 ha	au moins 10 visites par saison, soit 10 matinées	2 à 3 demi-journées au minimum
Nombre d'espèces recensées	grand	grand	grand	faible	très faible

1 - L'Indice ponctuel d'abondance (IPA)

Cette méthode vise à recenser les oiseaux en période de reproduction pour caractériser les peuplements. Après avoir déterminé les différents habitats naturels en présence [fiche 8], l'observateur prépare un plan d'échantillonnage, le plus souvent systématique ou stratifié [fiche 1]. Il s'agit de définir un nombre assez grand de points contacts, distants d'au moins 150 m l'un de l'autre, si possible de 400 à 500 m. Une dizaine de points par type d'habitat donnent une bonne description de son avifaune.

Sur chaque point, l'observateur reste sensiblement immobile et note pendant 20 minutes exactement toutes ses observations visuelles ou auditives, sans limite de distance. Tous les individus différents contactés doivent être notés (nom d'espèce avec une cotation de 1 pour un mâle chanteur, un

couple, un nid occupé ou un groupe familial, et une cotation de 0,5 pour un individu observé ou entendu par son cri).

Les observations sont réalisées dans les trois ou quatre heures suivant le lever du soleil, dans l'idéal avec un vent nul ou faible, une température pas trop froide et sans forte pluie.

Deux campagnes d'observation doivent être faites : en général, pour la moitié nord de la France, une campagne précoce en mars-avril pour prendre en compte les nicheurs précoces, suivie d'une campagne tardive en mai-juin, lorsque les derniers migrants sont installés.

Après chaque session d'observation de 20 minutes, une liste est établie avec :

- toutes les espèces observées,
- et, pour chacune d'elles, la valeur d'abondance la plus forte (obtenue lors de l'un ou l'autre des deux passages).



P. Gourdain (MNHN/SPN)

Sur une année (soit deux passages sur un même point), la valeur de l'IPA de chaque espèce sera la valeur obtenue la plus élevée sur l'une des deux sessions. Par exemple, pour 10 points contacts, le premier passage a permis de dénombrer 3 mâles chanteurs d'alouette lulu (cotation 1) et une femelle seule (cotation 0,5), soit un total de 3,5. Le second passage a permis de dénombrer 2 mâles chanteurs (cotation 1), 1 femelle nourrissant au nid (cotation 1) et 2 groupes familiaux de jeunes avec des adultes (cotation 1), soit un total de 5. L'IPA des alouettes lulus sur ce site sera donc de 5.

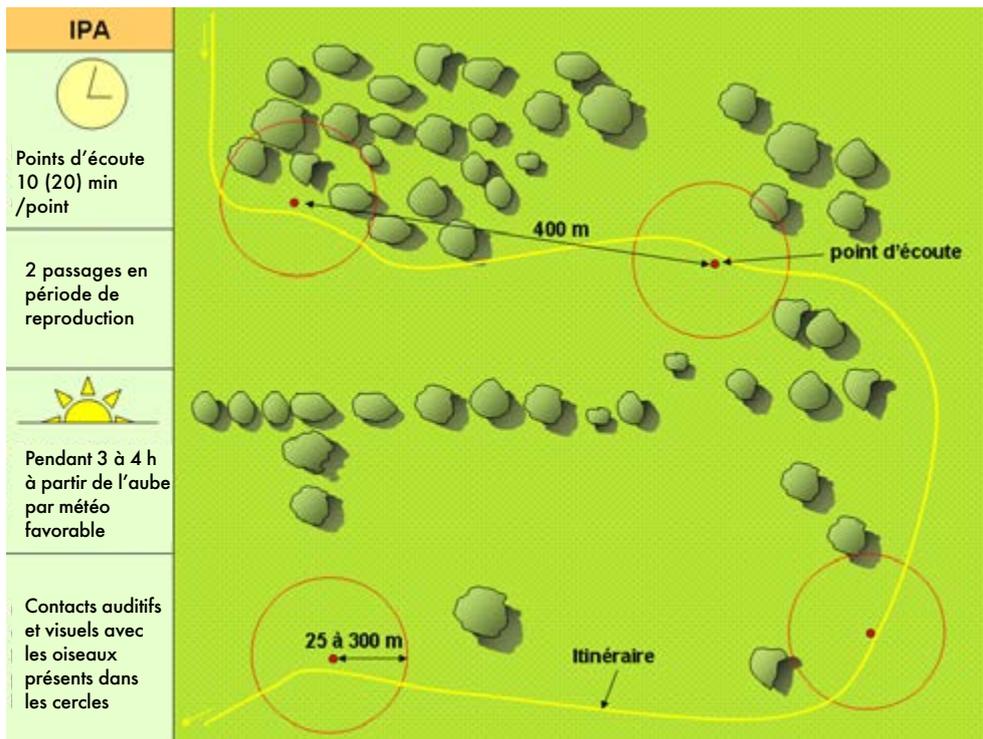
Un tableau espèces-relevés est alors bâti, qui permet de calculer l'IPA moyen (pour les N points IPA réalisés) de chaque espèce sur le territoire étudié. Cet IPA moyen est l'expression de l'abondance de chaque espèce sur le site étudié. Son écart-type rend compte de l'importance des différences entre les points de l'échantillon.

La composition et la structure du ou des peuplements peut être connue, en termes de richesse, d'abondance relative de chaque espèce, et de diversité. Éventuellement, cela permet de recenser des espèces qui auraient échappé au premier inventaire [fiche 28].

La comparaison d'indices relevés sur plusieurs années permet d'avoir une appréciation de l'évolution des populations d'oiseaux, par exemple en fonction des activités anthropiques (impact de la gestion forestière par exemple) ou

de changements plus globaux. C'est une méthode adaptée à l'étude de la relation oiseaux-milieu, par exemple pour différencier les populations d'oiseaux d'une forêt en fonction du stade de croissance des arbres, ou déterminer les habitats optimaux des espèces. D'une manière générale, elle permet de réaliser des comparaisons quantifiées et objectives dans l'espace (entre sites) et dans le temps (lors de suivis pluriannuels (FROCHOT 2010).

Nécessitant un nombre relativement important de points de comptage, la méthode des IPA est inopérante dans les milieux très petits (comme par exemple une carrière de moins de 10 hectares, où un seul point serait possible). Par contre, elle est bien adaptée à l'étude de sites grands (plusieurs dizaines d'hectares) ou très grands (plusieurs centaines).

Figure 50 Indice ponctuel d'abondance

2 - L'Échantillonnage fréquentiel progressif (EFP)

Cette méthode, bien moins souvent utilisée que les IPA, s'applique à des surfaces supérieures à 5 ha (mais 30 à 40 ha au minimum sont préférables), le plus souvent à de très vastes superficies supérieures à 1000 ha, et notamment à des milieux non morcelés et non linéaires (BLONDEL 1975).

Des stations d'échantillonnage sont déterminées au préalable, sur carte et d'après les habitats en présence.

L'observateur, immobile, enregistre sur chaque point d'écoute l'ensemble des espèces présentes à partir de leurs manifestations vocales et visuelles, lors d'un sondage unique d'une durée de 10 à 20 minutes et sans limite de distance.

Seule la présence de l'espèce est notée.

Les observations doivent être faites au lever du jour (période pendant laquelle les émissions vocales sont optimales), ou à la rigueur au coucher du soleil, dans de bonnes conditions météorologiques.

La superficie des stations est déterminée par l'espèce ayant le plus grand rayon d'action. Il est nécessaire de multiplier les points d'écoute pour obtenir des résultats solides.

Les espèces sont notées en présence-absence au niveau de chaque relevé ; les variations du

peuplement sont visualisées en fonction des différents milieux identifiés lors de la préparation du plan d'échantillonnage, la richesse spécifique*, la richesse stationnelle moyenne, les fréquences spécifiques.

Cette méthode ne donne pas des valeurs d'abondance, mais exprime la fréquence de l'espèce au sein de l'échantillon des N points d'observation. Cette fréquence est cependant grossièrement corrélée à l'abondance de l'espèce. Il faut noter que la probabilité de fréquence est par ailleurs corrélée à la durée des comptages : ce paramètre doit donc être rigoureusement contrôlé, des fréquences fondées sur des comptages de 10 minutes n'étant pas comparables à d'autres sur des comptages de 20 minutes.

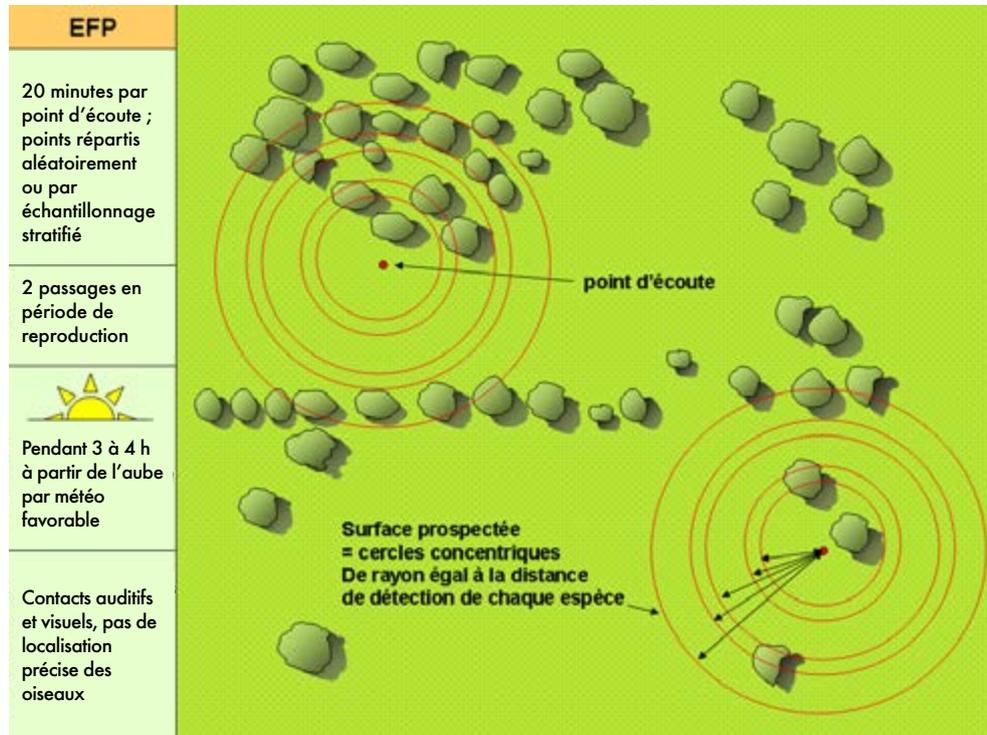
Comme d'autres méthodes « ponctuelles », celle des EFP est plus fiable pour des espèces territoriales et à petit rayon d'action, comme beaucoup de passériformes*, que pour les espèces à grand domaine vital (rapaces) ou grégaires.

Elle s'applique surtout en période de reproduction, car elle est peu fiable pour les groupes d'oiseaux importants, comportant peu d'espèces ou monospécifiques, comme les groupes d'oiseaux d'eau hivernants.

C'est une méthode facile à utiliser, peu contraignante sur le terrain, et applicable à la majorité des espèces d'oiseaux.

Gorge-bleue à miroir
Luscinia svecica

O. Delzons

Figure 51 Échantillonnage fréquentiel progressif

3 - L'Indice kilométrique d'abondance (IKA)

En fonction des objectifs et du territoire d'étude, plusieurs trajets rectilignes d'une longueur précise, comprise entre 500 et 1000, voire 2000 m, sont déterminés, le long des surfaces à prospecter.

Cette phase est particulièrement contraignante, car la définition de cheminements linéaires est souvent difficile (milieux fermés, escarpés, plans d'eau).

L'observateur se déplace lentement et régulièrement le long de ce trajet, en notant les contacts, sans limitation de distance, hormis celle de la portée de voix des oiseaux. Pour chaque contact, il précise le nom d'espèce suivi d'une cotation de 1 pour un mâle chanteur, un couple, un nid occupé ou un groupe familial, et d'une cotation de 0,5 pour un individu observé ou entendu par son cri.

Le trajet est parcouru deux fois (soit deux allers et retours). Le premier aller-retour est effectué en début de saison de nidification (avant le 20 mai), pour la prise en compte des nicheurs précoces, et le second en fin de printemps (après le 20 mai), pour la prise en compte des nicheurs tardifs.

Les observations doivent être réalisées dans les 3

ou 4 heures suivant le lever du soleil, avec un vent nul ou faible, une température pas trop froide et sans fortes pluies.

L'IKA de chaque espèce est calculé en additionnant les cotations pour chaque trajet et en retenant la valeur la plus élevée obtenue au cours des quatre trajets, ramenée au kilomètre.

À partir des N relevés réalisés sur le territoire d'étude (ou sur une fraction de ce territoire), l'IKA moyen est calculé pour chaque espèce : cet indice exprime son abondance en fonction de la distance linéaire étudiée (nombre de couples ramené au km parcouru).

IKA d'une espèce = nombre de couples de cette espèce par km

Cette méthode s'applique surtout pour les espèces d'oiseaux dites territoriales (passereaux et espèces apparentées). Elle permet d'avoir une estimation de l'abondance de la population. Comme pour d'autres méthodes relatives, il est parfois possible de la calibrer et de transformer l'indice IKA en abondance absolue. Elle est bien adaptée aux milieux naturels linéaires (certains cours d'eau) et aux milieux homogènes de vaste superficie (grands massifs forestiers).

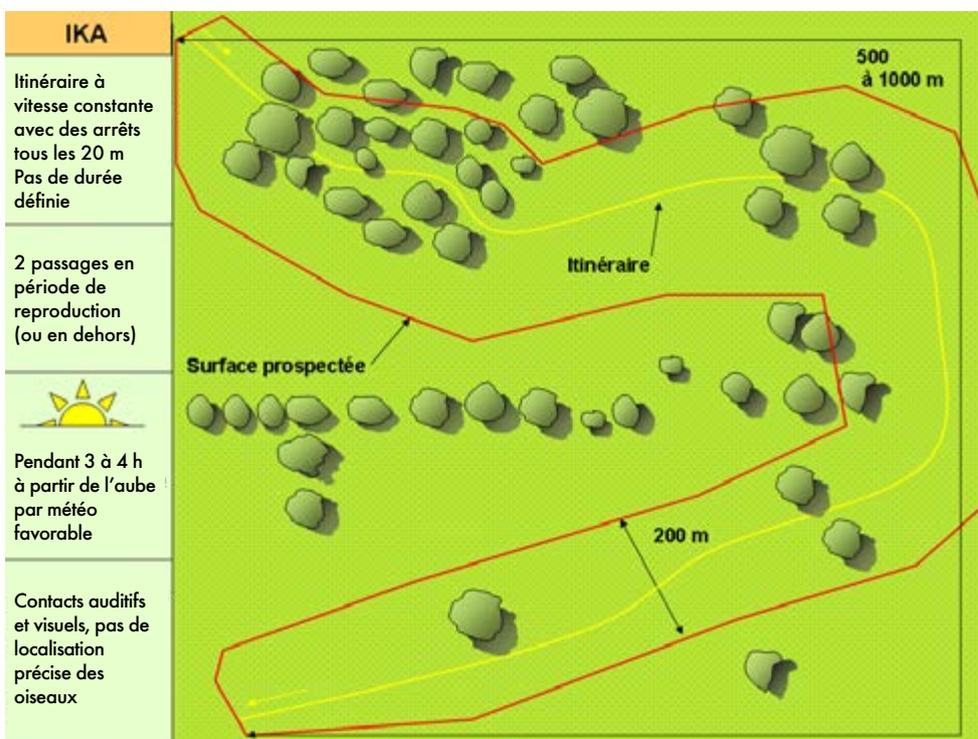
Les contacts avec les différentes espèces étant fonction de la fréquence et de l'intensité des émissions sonores, variables d'une espèce à l'autre, les IKA des espèces inventoriées ne sont ni directement comparables ni cumulables.

Comme avec l'IPA ou les EFP, il est parfois difficile de comparer les résultats obtenus par différents observateurs du fait des différences de perception, différences résultant de leur expérience et de leur acuité auditive respectives. Pour toutes ces

méthodes, il est recommandé aux observateurs de s'exercer ensemble sur le terrain avant de procéder aux comptages.

Enfin, cette méthode est mal appropriée au recensement des espèces ayant une faible densité ou un très grand rayon d'action. Elle est encore plus mal adaptée que les méthodes des EFP et IPA aux milieux de faible superficie ou morcelés. C'est pourquoi elle est maintenant supplantée par ces méthodes ponctuelles.

Figure 52 Indice kilométrique d'abondance



4 - Le Programme de suivi temporel des oiseaux communs (STOC)

Les techniques employées dans ce programme national ne sont pas destinées à l'étude de sites ponctuels tels que les carrières. Cependant, les tendances interannuelles révélées aux échelons national ou régional par le programme STOC renseignent sur les espèces étudiées.

Depuis 1989, un programme de suivi des populations nicheuses de passereaux communs a été lancé par le Centre de recherche sur la biologie des populations d'oiseaux (CRBPO) du Muséum national d'Histoire naturelle : le programme STOC (suivi temporel des oiseaux communs). L'objectif de ce programme est

d'évaluer les tendances d'évolution des effectifs reproducteurs des espèces communes sur la base d'un réseau national. L'échantillonnage repose sur un protocole scientifique standardisé et harmonisé avec d'autres programmes européens. Il se décompose en deux « sous-programmes » :

- **STOC-EPS** (échantillonnage ponctuel simple) - L'échantillonnage se fait par la réalisation d'un lot d'EPS constitué d'un groupe de 10 points d'écoute de 5 minutes, répartis de manière homogène dans un carré de 2 km de côté choisi de manière aléatoire.

Deux passages sont effectués chaque printemps, pour chaque lot d'EPS, autour de la date charnière du 8 mai, avec quatre à cinq semaines d'intervalle. Les points sont

répétés d'une année sur l'autre aux mêmes dates. Chaque année, l'habitat est relevé au niveau de chaque point.

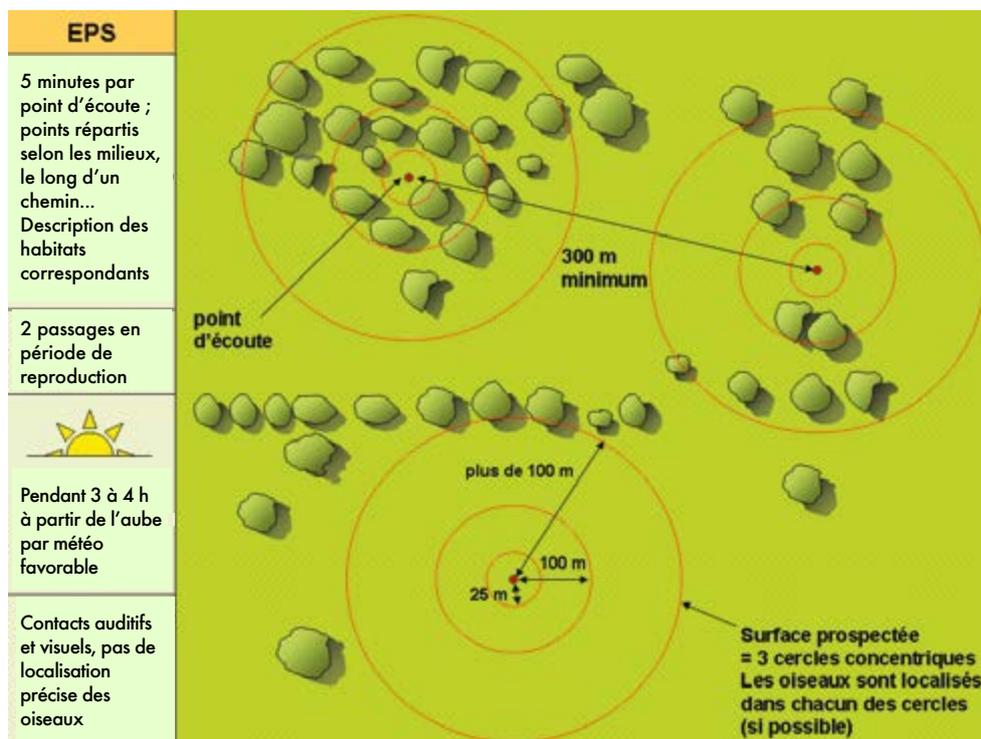
- **STOC-capture** (par capture et baguage)
L'échantillonnage des oiseaux nicheurs se fait au printemps selon le principe de capture-marquage-recapture [fiche 3] à l'aide de filets verticaux, au cours de plusieurs sessions de capture (3 à 5) sur un même site possédant une végétation basse et ho-

mogène (milieux arbustifs, roselières, etc.). Cette opération est renouvelée chaque année. La standardisation est obtenue par un nombre fixe de filets aux emplacements définis et par la répétition du nombre, des dates et de la durée des sessions de capture.

Consulter www.mnhn.fr/mnhn/crbpo/stoc.html

Figure 53

Échantillonnage ponctuel simple



5 - La méthode des quadrats (ou de cartographie des territoires)

Cette méthode est peu utilisée dans le contexte des carrières, du fait de la lourdeur de sa mise en œuvre. Elle peut cependant être employée sur des sites très petits, ou bien pour le suivi sur plusieurs années d'un site ayant vocation à être classé en réserve naturelle, ou bien encore de manière allégée, en réduisant le nombre des espèces recensées.

Cette méthode classique consiste à recenser l'ensemble des oiseaux d'un espace prédéfini, en cartographiant leurs activités et leurs territoires de nidification (BLONDEL 1969, FERRY 1969).

La méthode peut être mise en œuvre sur une surface d'environ 10 à 20 ha, le « quadrat » ou « plan quadrillé ».

Si le territoire d'étude est très vaste, le quadrat est choisi sur une ou plusieurs parcelles estimées représentatives.

Il est délimité avec précision, puis un réseau de sentes plus ou moins parallèles est réalisé à l'intérieur (distances de 50 à 100 m selon le type de milieu et se coupant à angle droit). La distance entre les sentes doit permettre une investigation visuelle totale de la parcelle. Théoriquement, elle ne doit pas excéder 100 m en milieu ouvert* et 50 m en milieu fermé.

Ce réseau de sentes, auquel on ajoute des repères naturels, constitue une grille permettant de reporter précisément sur un plan les observations de toutes les espèces et, à terme, leurs territoires de nidification.

Rouge-gorge familier
Erithacus rubecula
chantant



P. Gourdain (MNHN/SPN)

L'observateur visite le quadrat régulièrement tout au long de la saison de reproduction (mi-mars à début juillet) une (à deux) fois par semaine. À chaque fois, il reporte sur un plan tout contact avec un oiseau, en précisant l'espèce, les caractéristiques et le comportement de l'individu observé (mâle chanteur, manifestation vocale ou visuelle...), ses déplacements, tous les indices de reproduction (transport de matériaux ou de nourriture, nids...).

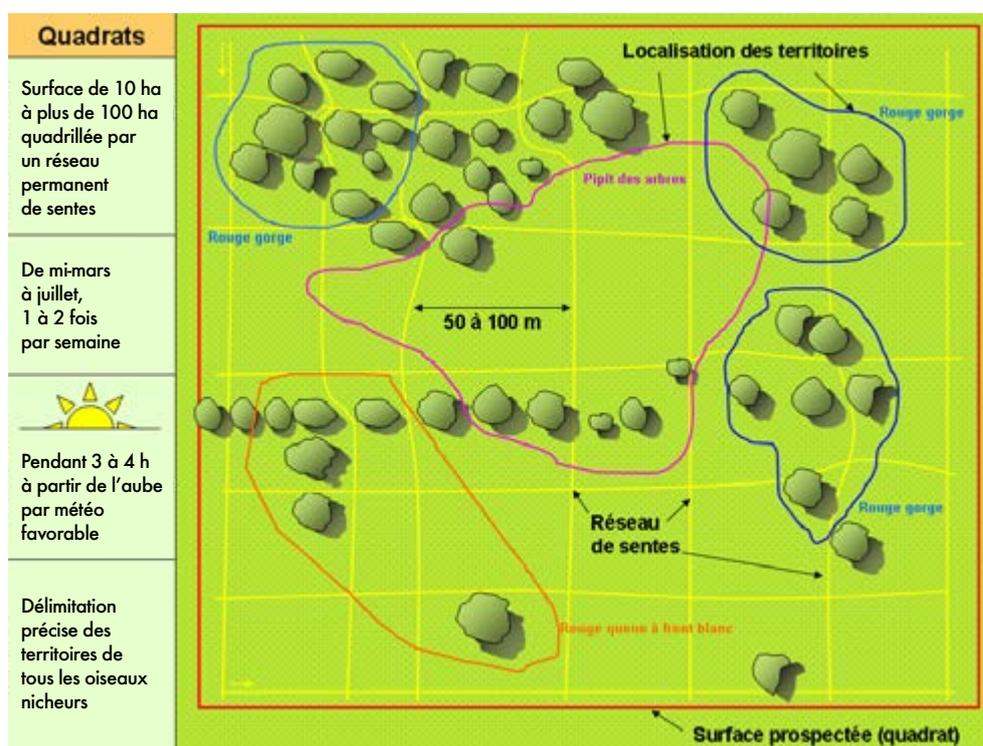
Les observations sont réalisées si possible aux mêmes horaires et dans les mêmes conditions météo que celles requises pour les méthodes précédentes. Une plus grande souplesse est cependant possible, toute observation partielle venant de toute manière enrichir les données. De

même, des observateurs différents peuvent participer au recensement.

Il est impératif que les séances s'échelonnent tout au long de la saison de reproduction de manière à prendre en compte les oiseaux précoces aussi bien que les plus tardifs. Cet échelonnement permet par ailleurs d'affiner au fur et à mesure la délimitation et la répartition spatiale des territoires.

La méthode des quadrats a l'avantage de permettre des comparaisons inter-spécifiques, puisque l'abondance des espèces est exprimée en densités absolues (nombre de couples/hectare).

Figure 54 Quadrats



La taille des territoires est très variable selon les espèces d'oiseaux : inférieure à 1 ha pour des fauvettes ou mésanges, elle peut dépasser 100 ha chez des pics ou rapaces. Un quadrat ne s'adresse donc qu'à un ensemble d'espèces : par exemple, une superficie de 20 ha est convenable pour recenser les espèces à petits territoires, mais ne permet aucunement d'estimer des densités de

pics, de grives ou de rapaces. Pour mesurer les densités de toutes les espèces présentes dans un habitat, il faut donc procéder avec plusieurs quadrats de tailles différentes : 20 ha pour les passereaux abondants, plus de 200 ha pour les pics (MULLER 2002) ou les pigeons, 2 000 ha pour les rapaces...

6 - Le baguage

Cette méthode, elle aussi très contraignante, est très peu utilisée dans le cadre qui nous intéresse. Elle ne sera donc traitée que très succinctement. Pour le principe des techniques de capture-marquage-recapture qui peuvent éventuellement être mises en œuvre à l'aide de bagues, voir la méthode correspondante [fiche 3]. La pose de bagues est surtout utilisée dans le suivi des migrations, ou de dynamiques de populations.

Les oiseaux sont capturés le plus souvent le matin (parfois en soirée pour des espèces dormant en dortoir, ou la nuit pour des migrateurs nocturnes) souvent à l'aide de filets dits japonais, qui sont montés sur le site, ou parfois à l'aide de trappes ou de pièges. Ils sont ensuite bagués, mesurés et pesés puis relâchés sur le site. Ils peuvent être aussi marqués au nid (cigognes, rapaces). La capture d'adultes en période de reproduction engendre un stress, voire une faible mortalité, et met en péril les nichées, l'oiseau capturé délaissant son nid pendant un certain temps.

Deux types de marques peuvent être posées :

- des bagues métalliques portant un code alphanumérique, propre à chaque individu, et qui permettent de savoir où a été bagué un oiseau recapturé, et quel était son état de santé et son âge à ce moment-là. Cela peut permettre, par exemple, de mettre en évidence l'utilisation d'un site par une espèce d'oiseau discrète dans un milieu très difficile d'accès, de connaître les axes et les périodes migratoires, etc. ;
- des marques colorées, le plus souvent associées à une bague métallique, qui permettent de suivre des individus sans les recapturer, pour connaître, par exemple, leur utilisation du territoire pendant la nidification. Cette méthode peut être utilisée dans certains cas très précis d'espèces hautement patrimoniales et suffisamment bien visibles. Il peut s'agir de bagues colorées, ou encore de marques alaires (pour les oiseaux de grande taille comme les rapaces), de marques nasales (canards), etc.

Deux exemples de l'intérêt de ces méthodes pour caractériser la biodiversité



O. Delzons

Le phragmite aquatique

(*Acrocephalus paludicola*)

Cette petite fauvette aquatique figure parmi les oiseaux les plus menacés d'Europe (moins de 20 000 couples). Le baguage a permis de mettre en évidence l'utilisation de sites d'escaliers migratoires sur la côte ouest de la France, par ce migrateur nocturne et farouche, souvent invisible en migration dans les marais et les roselières.



O. Delzons

Le gorge-bleue à miroir

(*Luscinia svecica*)

Ce Turdidé est suivi sur plusieurs sites en France à l'aide de bagues colorées, afin d'individualiser les oiseaux et d'améliorer notre connaissance de leur utilisation des territoires.

7 - Les oiseaux comme bio-indicateurs

Les peuplements d'oiseaux sont parfois utilisés comme indicateurs de l'état ou de l'évolution de certains milieux [fiche 5].

Parmi tous les taxons utilisables comme indicateurs, les oiseaux ont plusieurs avantages pratiques : biologie bien connue, identification relativement aisée, présence dans tous les types d'habitats. Leur observation est facile car elle ne nécessite pas de moyens techniques coûteux et complexes. Sensibles aux changements progressifs ou brutaux de leur environnement, ils occupent de vastes territoires et donnent des informations sur la qualité de nombreux milieux (forêts, zones humides, cours d'eau). Par sa présence ou son absence, chaque oiseau donne des indications sur l'état des habitats (structure de la végétation, niveau de dégradation, abondance de proies, dérangement). En général, un petit groupe d'espèces dont les exigences sont strictes et bien connues donne des informations fiables et pertinentes, à l'échelle du paysage.

Ainsi, les ornithologues du programme STORI* mettent au point un indice de la qualité des cours d'eau à partir de l'avifaune (FROCHOT 2001, ROCHE et al. 2010 ...). À la suite de cette initiative, et à titre d'exemple, citons la démarche mise en place par Espaces naturels régionaux du Nord - Pas-de-Calais, qui utilisent les oiseaux des zones humides comme indicateurs de qualité et témoins de suivi, dans le Programme de Suivi et d'Évaluation de la Qualité des Zones humides » (PSEQZH, BRIMONT 2008). Des IPA sont réalisés chaque an-

née sur différents sites, et les résultats sont comparés. Seules les espèces inféodées aux zones humides sont prises en compte (Anatidés*, Ardeidés*, Rallidés*, Limicoles*, Laridés*, certains rapaces et passereaux). À chaque espèce est attribué un indice chiffré de valeur patrimoniale, qui est multiplié par le coefficient d'abondance de l'espèce sur un site donné. La somme de ces indices pour un site donne l'Indice de valeur patrimoniale de ce site, afin de comparer les sites entre eux, et leur évolution dans le temps, par exemple la réaction des espèces par rapport à un plan de gestion.

De plus, l'évolution de certaines espèces indicatrices, choisies pour leur sensibilité ou leur spécialisation vis-à-vis d'un type de milieu permet d'affiner le diagnostic.

Par exemple, dans le cadre du plan de gestion du marais de Roussent, menacé par la fermeture du milieu et la baisse du niveau d'eau, plusieurs espèces ont été retenues pour caractériser l'évolution des milieux. Les espèces rares et très spécialisées ont été écartées car leurs effectifs ne sont pas statistiquement fiables (butor étoilé, marouette ponctuée). Citons par exemple, comme espèce indicatrice, le râle d'eau, recherchant les roselières peu embroussaillées avec de forts niveaux d'eau, dont l'évolution des effectifs est à mettre en parallèle avec celle des bouscarles de Cetti, qui préfèrent les roselières embroussaillées. Les changements observés doivent évidemment être relativisés au vu de l'évolution de l'espèce au niveau régional et au-delà.

Comparaison des durées et coût de la mise en œuvre des différentes méthodes

Pour l'IPA, un observateur peut réaliser de 3 à 6 points d'écoute de 20 minutes en une matinée : ce nombre dépend des conditions météorologiques du jour et aussi de la durée des trajets inter-points. Ainsi, pour recenser les oiseaux d'un site de 150 ha, où sont pratiqués 10 points d'écoute pas trop éloignés les uns des autres, il faudra deux matinées en début de printemps et deux autres en mai-juin.

Pour l'EFP, compter 1 à 10 heures de travail pour 100 ha, suivant le milieu et son hétérogénéité.

Pour l'IKA, il faut compter 2 à 4 heures d'observation pour un km d'itinéraire-échantillon (quatre trajets). Une personne peut raisonnablement réaliser une quarantaine d'IKA par saison.

Pour la méthode des quadrats, le travail préparatoire est souvent particulièrement long car il faut installer un quadrillage pérenne (repères au sol ou positionnement par GPS), à moins qu'il n'existe un réseau de repères suffisamment dense sur le terrain (cas de certains parcs urbains par exemple). Compter 1 à 3 jours pour le travail de préparation du terrain (balisage, création du réseau de sentes), pour 10 ha.

Les observations nécessitent de +/- 30 heures à +/- 50 heures réparties tout au long de la saison de reproduction pour des quadrats de 10 à 30 ha à raison d'une séance hebdomadaire.

Pour le baguage, compter une demi-journée d'installation plus une demi-journée à une journée complète pour une séance de baguage. Le nombre de séances, souvent élevé, est variable suivant le milieu et le bagueur.

Compétences requises

L'observateur doit avoir une bonne connaissance technique en ornithologie et notamment connaître l'ensemble du répertoire vocal (chants et cris)

des espèces potentiellement présentes sur le site d'étude, de variation de leur comportement (mâle chanteur, individu isolé). Cette exigence est particulièrement forte pour pratiquer les méthodes relatives par comptage en temps limité. Elle est un peu moins sévère pour les quadrats et les captures, qui laissent à l'observateur du temps pour confirmer ses déterminations.

Un permis de baguage est nécessaire pour toute opération de capture.

Tableau 38 Caractéristiques d'application des méthodes d'inventaire de l'avifaune

Méthodes	Inventaire de l'avifaune					
	Inventaire simple	IPA	EFP	IKA	Quadrats	Captures
Domaines d'application	Tous les milieux	Tous les milieux	Milieu homogène et sans effet de lisière	Milieu homogène, non linéaire, de vaste superficie	Tous les milieux	Tous les milieux
Limites	Risque de manquer des espèces. Taille du site	Problème pour les milieux très diversifiés ou très pauvres, nécessitant d'augmenter le nombre de points et un observateur de forte compétence	Nombre de points important. Observateur de forte compétence	Vitesse constante. Observateur de forte compétence	Nombre important de relevés, mise en place d'un quadrillage	Nombre de relevés important, dilution des espèces, accoutumance aux pièges. Besoin d'un grand nombre de captures
Compétences requises	++	+++	+++	+++	++	++
Coûts	+	++	++	++	++++	++++

BIBLIOGRAPHIE

BLONDEL J. - *L'analyse des peuplements d'oiseaux, éléments d'un diagnostic écologique. I. La méthode des échantillonnages fréquentiels progressifs (EFP)*. - La Terre et la Vie, 1975 - 29, p. 533-589.

BLONDEL J. - « Méthodes de dénombrement des populations d'oiseaux » In *Problèmes d'écologie. L'échantillonnage des populations animales en milieu terrestre*, sous la direction de Lamotte M., Bourlière F. - Paris : Masson, 1969.

BLONDEL J., FERRY C., FROCHOT B. - *La méthode des indices ponctuels d'abondance (IPA) ou des relevés d'avifaune par stations d'écoute*. - Alauda, 1970 - 28(1), p. 55-71.

BLONDEL J., FERRY C., FROCHOT B. - « Point counts with unlimited distance » In *Estimating Numbers of Terrestrial Birds sous la direction de Ralph, Scott* - Studies in avian biology, 1981 - 6, p. 414-420.

BOSSUS A., CHARRON F. - *Guide des chants d'oiseaux d'Europe occidentale* - Delachaux et Niestlé, 2004.

BRIMONT F. et al. - *Les oiseaux, reflets de la qualité des zones humides*. - Lille : Cahier Technique d'Espaces Naturels Régionaux du Nord - Pas-de-Calais, 2008.

BROWN R. et al. - *Guide des traces et indices d'oiseaux*. - Lausanne : Delachaux et Niestlé, 2005.

CLOUDIN J. - *Suivi des conditions de maintien de l'état de conservation* - Éd. Atelier technique des espaces naturels, 1994.

FERRY C. - *Pour une normalisation des résultats de dénombrements d'oiseaux : le Symposium d'Ammarnäs*. - Le Jean le Blanc, 1969 - p. 25-30.

FIERS V. - *Études scientifiques en milieux naturels*. - Éd. Atelier technique des espaces naturels, 2003.

FROCHOT B. - *Les méthodes de recensement d'oiseaux appliquées aux suivis pluriannuels*. - Rev. Sci. Bourgogne-Nature, 2010 - 11, p. 123-130.

FROCHOT B. et al. - *Les oiseaux de la Loire : évolution sur 12 années*. - Alauda, 2003 - 71(2), p. 179-190.

FROCHOT B., FAIVRE B., ROCHE J. - « Les peuplements d'oiseaux indicateurs de l'état de santé des écosystèmes d'eau courante » In *État de santé des écosystèmes aquatiques. Synthèse du programme de recherches 1996-1999 du GIP Hydrosystèmes*. - Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2001 - p. 125-151.

MULLER Y. - *Les recensements par indices ponctuels d'abondance (IPA), conversion en densités de populations et test de la méthode*. - Alauda, 1987 - 55, p. 211-226.

MULLER Y. - *Recherches sur l'écologie des oiseaux forestiers des Vosges du Nord. VIII. Dénombrement des Pucidés nicheurs d'une chênaie-pinède de 426 ha*. - Ciconia, 2002 - 26, p. 29-39.

ROCHE J., FAIVRE B., FROCHOT B. - *Suivi temporel des oiseaux nicheurs en rivière (programme « STORI ») ; évolution sur 16 années (1991-2006) des communautés de l'Allier*. - Alauda, 2010 - 78, p. 253-268.

WOOG F., RENNER S., FJELDSA J. - « Chapter 21 - Tips for bird surveys and censuses in countries without existing monitoring schemes » In *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring*, sous la direction de Eymann J. et al. - Abc Taxa, 2010 - 8(2), p. 558-586.



30

FICHE 30

Les grands mammifères

VERTÉBRÉS



D. Sirugue (Bourgogne Nature)

LES GRANDS MAMMIFÈRES

GÉNÉRALITÉS

L'ensemble des mammifères est traité ici, à l'exclusion de deux groupes faisant chacun l'objet d'une fiche particulière : les chiroptères* (chauves-souris) [fiche 31] et les micromammifères [fiche 32].

Les espèces traitées dans la présente fiche appartenant aux ongulés (chevreuil), aux carnivores (renard), aux grands insectivores (hérisson), aux lagomorphes (lapins) et aux grands rongeurs (castor), ne sont pas prises en compte de manière systématique dans les études de sites de carrière.

Cependant, de nombreuses espèces présentent un intérêt patrimonial (castor, loutre, vison d'Europe), ou peuvent être l'objet d'enjeux divers (espèces gibiers, impact sur le trafic routier, prédation, dégâts sur les cultures).

MÉTHODES

Trois stratégies d'échantillonnage peuvent être mises en œuvre :

- le recensement indirect,
- le recensement direct,
- les méthodes de capture.

1 - Recensement indirect

De nombreux indices peuvent trahir la présence de mammifères, qui restent souvent invisibles en raison de leur discrétion et de leurs mœurs généralement nocturnes. Suite à une enquête préalable, destinée à cibler les espèces potentiellement présentes, un parcours systématique du site à la recherche d'indices est effectué.

Il s'agit en particulier :

- d'empreintes, spécialement dans les zones boueuses, les chemins, le sable et la neige ;
- de coulées, ou de passages préférentiels ;
- de reliefs de repas ;
- de terriers (renard *Vulpes vulpes*, blaireau *Meles meles*) ou de nids ;
- des marques territoriales comme les grattis des lapins *Oryctolagus cuniculus*, ou les frottis sur les écorces d'arbres des chevreuils *Capreolus capreolus* ;
- de signes divers (ossements, bois de cervidés, poils).

Chaque espèce peut être plus ou moins bien caractérisée, en fonction de la nature des indices et de leur degré de spécificité.

L'emploi de pièges à empreintes, placés sur des emplacements repérés auparavant, permet de récolter un grand nombre d'empreintes. Il s'agit d'un cadre en bois (50 cm x 50 cm par exemple) avec

(ou sans) rebord de 3 cm de haut, rempli d'argile très humide (3 à 4 cm d'épaisseur). Le piège est déposé, de préférence en fin de journée, sur le terrain, dans une coulée ou au pied d'un arbre, par exemple, si possible enterré et vaporisé avec de l'eau pour l'humidifier. Les empreintes sont relevées le lendemain matin.

Exemple de la loutre (*Lutra lutra*)

Ce mammifère aquatique s'est considérablement raréfié en Europe.

Nocturne, passant ses journées dissimulée dans sa catiche (terrier), discrète, explorant sans cesse un vaste domaine vital (de 10 à 40 km de cours d'eau), de la loutre serait le plus souvent indétectable, sans les indices relativement nombreux et caractéristiques qu'elle laisse derrière elle :

- fèces (épreintes) déposées en vue sur un rocher, un trône, à l'odeur sucrée ;
- massacres (restes de repas : poissons, écrevisses) ;
- empreintes et coulées.

La recherche systématique de ces indices a été retenue comme protocole standardisé d'étude de la répartition de la loutre en France.

Protocole d'inventaire en France

Sur chacun des secteurs définis, des indices de présence sont recherchés, 300 m en amont et 300 m en aval, sur les deux rives.

Dès qu'un indice est découvert, le secteur est noté positif ; si au bout de 600 m de prospection, aucun indice n'est découvert, on considère que le secteur est négatif.

Pour être validées, ces opérations doivent être répétées trois fois dans l'année (période optimale : octobre à mars), ce qui signifie donc, *a contrario*, que toute prospection estivale négative (juin-septembre) n'est absolument pas significative.

BOUCHARY, C. *et al.* (1993). Évolution de la répartition de la loutre d'Europe en France. SFPEM, Groupe Loutre, SFF-MNHN, 6 pp.

http://www.reseau-loutres.org/methode_inventaire_loutre.php

2 - Recensement direct

Les méthodes décrites, applicables notamment aux grands ongulés (cerf, chevreuil, sanglier), nécessitent de disposer d'une autorisation (ONCFS, gendarmerie, mairies) et d'être accompagné par une brigade de l'ONCFS.

Une fois déterminées précisément sur une carte les limites du territoire d'étude et des divisions de ce territoire nécessaires pour l'organisation des observations, un repérage sur le terrain est fait pour vérifier la faisabilité des itinéraires, et les points d'observation nécessaires.

En fonction du terrain, des personnes disponibles et des comportements des animaux à observer, diverses méthodes sont envisageables :

- battue avec des rabatteurs, qui avancent en ligne pour faire fuir les animaux, et des compteurs mobiles qui se trouvent sur le pourtour de l'enceinte et qui comptent les animaux passant cette limite ;
- approche et affût combinés avec des « promeneurs » dans l'enceinte qui provoquent le déplacement des animaux et des « compteurs fixes » sur les bords de l'enceinte qui comptabilisent les animaux, notent les heures et directions de passage ;

Empreinte de sanglier
Sus scrofa

O. Delzons

- au phare, à partir d'un véhicule se déplaçant lentement le long d'un circuit déterminé à l'avance sur le territoire d'étude et doté d'un puissant projecteur (200 m), deux observateurs comptant tous les animaux de part et d'autre de l'itinéraire.



P. Gourdain (MNHN/SPN)

Cerf élaphe - *Cervus elaphus*

Pour une battue, il faut compter 80 personnes (dont 60 rabatteurs) pour couvrir 80-100 ha (possibilité de couvrir 300 ha/jour en trois battues) ; pour une approche et affût combinés : 150-300 personnes pour 100 ha ; au phare : deux observateurs avec, selon le cas, un véhicule et un chauffeur.

Des systèmes de détection plus élaborés (radar passif ou faisceau infrarouge, éventuellement complété par un appareil photographique ou une caméra), permettent d'effectuer des comptages et d'identifier les espèces, par exemple pour estimer l'utilisation par les animaux d'un passage à grande faune.

Ces méthodes très intéressantes restent cependant relativement coûteuses et longues à mettre en œuvre ; il est possible d'installer 2 à 4 récepteurs par jour suivant la topographie du site. Il faut ensuite suivre et contrôler le matériel régulièrement, recueillir les données et les analyser, ce qui peut prendre encore entre 1 et 3 jours.

3 - Méthodes de capture

La plupart des mammifères peuvent être piégés, ce qui permet, en plus de recenser les espèces, d'estimer les densités et d'étudier certaines caractéristiques de la population (classes d'âge, morphométrie). Le choix des sites de piégeage s'effectue après un repérage minutieux des coulées et des indices de présence des espèces recherchées. Suivant les espèces, leur taille, leur habitat, les pièges utilisés seront différents. Ce sont des systèmes non vulnérants pour les animaux. Ils sont généralement bouillis avant d'être posés, pour éliminer toute odeur humaine.

Par exemple, pour les carnivores, des collets, des boîtes à fauves ou encore des pièges à lacets de pattes sont utilisés.

Le collet à arrêtoir peut être utilisé pour les renards ou les blaireaux. Il se compose d'un câble en acier souple muni de deux arrêtoirs, l'un limitant l'ouverture maximale pour empêcher la capture d'animaux de grande taille, l'autre limitant la fermeture minimale de la boucle afin de prévenir tout risque d'étouffement. Le collet est placé à la hauteur moyenne où le renard porte sa tête (18 cm) pour éviter, théoriquement, de capturer des espèces plus petites (chat sauvage) ou plus grandes (chevreuil).

Les boîtes à fauves (chatières) sont utilisées pour la capture de mustélidés, voire de chats sauvages, ou de hérissons. Elles peuvent être appâtées, mais l'appât n'est pas indispensable. Les pièges à lacets de pattes retiennent par la patte les animaux attirés par un appât.

Le printemps et le début de l'été sont les périodes les plus favorables pour beaucoup d'espèces, mais les prospections peuvent avoir lieu toute l'année selon les espèces ciblées et les méthodes utilisées. Le recensement des cerfs en rut pendant le brame se fait par exemple au début de l'automne.



P. Gourdain (MNHN/SPN)

Chevreuil
*Capreolus capreolus***Tableau 39**Caractéristiques d'application des méthodes d'inventaire des mammifères
(hors chiroptères et micromammifères)

Méthodes	Inventaire des mammifères (hors chiroptères et micromammifères)			
	Recensement indirect	Recensement indirect à l'aide de capteurs	Recensement direct	Capture
Domaines d'application	Tous les milieux	Tous les milieux	Tous les milieux sauf trop accidentés	Tous les milieux
Limites	Plus ou moins pertinent selon les espèces Période de passage	Choix des sites Matériel hyper spécialisé	Très dérangeant pour la faune, à proscrire pour les espèces protégées	Très dérangeant pour la faune, à proscrire pour les espèces protégées
Compétences requises	++ en mammologie et écologie des mammifères	+++	+	+++
Coûts	+	+++	+++ et mobilisation de beaucoup de personnes	++

BIBLIOGRAPHIE

BOURLIÈRE F. - *Les techniques d'échantillonnage utilisables pour l'étude des populations de grands mammifères sauvages.* - La Terre et la Vie, 1963 - 110(2), p. 238-244.

GAILLARD J.M. - *Les méthodes de recensement des grands mammifères.* - Université Claude-Bernard Lyon, 1983.

HOFFMAN et al. - « Chapter 19 - Field Methods and Techniques for Monitoring Mammals. » In *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring*, sous la direction de Eymann J. et al. - Abc Taxa, 2010 - 8(2), p. 482-529.

MACDONALD D., BARRETT P. - *Guide complet des mammifères de France et d'Europe.* - Lausanne : Delachaux et Niestlé, 1995.

MARINOSCI C. - *Atlas régional des mammifères sauvages : méthodologie pour une étude de faisabilité dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur.* - Université Paul Cézanne, 2010 - Mémoire Master SET.

QUÉRÉ J.P., LE LOUARN H. - *Les rongeurs de France. Faunistique et biologie. Guide pratique.* - Éditions Quae, 2011.

ROVERO F., TOBLER M., SANDERSON J. - « Chapter 6 - Camera-trapping for inventorying terrestrial vertebrates » In *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring*, sous la direction de Eymann J. et al. - Abc Taxa, 2010 - 8(2), p. 100-128.



31

FICHE 31

Les chiroptères

VERTÉBRÉS



P. Gourdain (MNHN/SPN)

LES CHIROPTÈRES

GÉNÉRALITÉS

Les chiroptères* (chauves-souris) présentent un intérêt patrimonial en raison de leur position en bout de chaîne alimentaire, de leurs exigences en termes d'habitat et de leur sensibilité aux perturbations diverses (pollution, dérangements). Ainsi, douze espèces sont inscrites à l'annexe II de la directive Habitats-Faune-Flore, et onze espèces sont inscrites sur liste rouge nationale (sur un total de 34 espèces présentes en France, toutes protégées).

Les chiroptères suscitent actuellement un regain d'intérêt, en raison, d'une part, de la rareté et de la vulnérabilité de nombreuses espèces et, d'autre

part, de la mise à disposition facilitée d'outils de haute technologie permettant détection et identification.

MÉTHODES

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude des chiroptères.

PÉRIODES DE PROSPECTION	J	F	M	A	M	J	JL	AO	S	O	N	D
Chiroptères	[Barre colorée indiquant la favorabilité par mois]											

■ Très favorable ■ Favorable ■ Peu favorable ■ Assez favorable ■ Défavorable

1 - La recherche de gîtes

Il peut s'agir de recenser les animaux dans des gîtes déjà connus via la bibliographie, ou d'en rechercher de nouveaux, lorsque la zone est favorable (cavités naturelles ou non, arbres morts). Les chauves-souris sont régulièrement fidèles à ces sites qui peuvent être des lieux :

- de parturition (mise bas), rassemblant uniquement des femelles, de quelques individus à plusieurs milliers pour les colonies les plus importantes. Dans ces endroits se réalisent les naissances et l'élevage des jeunes. Ils se localisent principalement dans des secteurs chauds favorables à la survie des jeunes, comme

Petit rhinolophe
Rhinolophus hipposideros

des bâtiments (souvent dans les greniers, les combles, les granges ou les fissures) et des arbres creux selon les espèces, ainsi que plus rarement dans des sites souterrains (carrières, mines, grottes) ;

- d'estivage, généralement de plus petite taille, rassemblant un à quelques individus, essentiellement des mâles. Ils peuvent se localiser dans les endroits les plus divers, dès qu'il y a des fissures (bâtiments, rochers, arbres) ;
- de transit, utilisés principalement en période de migration, de la fin de l'été à l'automne et au printemps. Ils servent de relais entre les sites de parturition ou d'estivage et d'hibernation. C'est souvent dans ces gîtes, à l'automne, qu'ont lieu les accouplements ;
- d'hibernation, utilisés essentiellement en hiver. Ils doivent posséder des caractéristiques particulières comme une température stable, une hygrométrie importante, être dans l'obscurité et peu soumis aux dérangements. Ils peuvent être de nature diverse mais les effectifs les plus importants s'observent dans les sites souterrains : carrières, grottes, mines, caves.



O. Delzons

par la très grande sensibilité des chiroptères aux dérangements, tant l'été en période d'élevage des jeunes, que l'hiver pendant l'hibernation, où tout réveil intempestif rime avec une grande perte d'énergie parfois irrémédiable. Cette méthode est donc à éviter.

2 - L'approche qualitative à l'aide de détecteurs d'ultrasons

Les cris des chauves-souris, qu'elles utilisent pour communiquer mais surtout pour repérer les proies et les obstacles lorsqu'elles chassent (système d'écholocation), permettent de différencier les individus et les espèces dans beaucoup de cas. Comme il s'agit d'ultrasons, compris entre 18 et 120 kHz, alors que l'oreille humaine ne décèle plus rien au-delà de 18 kHz, le recours à un appareillage spécifique est absolument nécessaire. Les détecteurs couplant système hétérodyne et à expansion de temps sont *a priori* les plus efficaces (voir tableau 33).

Le site est parcouru en juin/juillet, ou au mieux en août/septembre, quand un maximum d'individus est volant (adultes et jeunes de l'année, et espèces migratrices).

L'observateur parcourt un site échantillon, défini selon l'objet de l'étude comme l'utilisation de l'espace par les animaux ou le recensement d'un maximum d'espèces.

Les observations peuvent aussi se faire à partir de points fixes ou d'itinéraires de type transect prédéfinis. Les milieux attractifs pour les chiroptères sont prospectés en priorité, comme les haies, les vergers, les prairies bocagères.

Cette méthode est assez simple et peu coûteuse (investissement de départ pour l'achat de l'appa-

Recensement par observation

Le repérage, relativement simple, s'effectue de jour, avec un passage en période de reproduction (juin/juillet) et un autre au cœur de l'hibernation (janvier/février).

Le comptage des individus se fait directement à vue, ou sur photographie, le flash utilisé avec parcimonie les dérangeant relativement peu, voire à l'aide d'une caméra infrarouge. La simple présence d'observateurs dérange les chiroptères, et peut induire un réchauffement de l'air conduisant au réveil des chauves-souris. Les méthodes permettant de limiter les dérangements sont donc à privilégier.

Murin - *Myotis* sp.



P. Gourdain (MNHN/SPN)

Recensement par capture

Comme pour les autres espèces protégées, l'étude par la capture des chiroptères nécessite une autorisation préalable. Cette obligation est d'autant plus justifiée

reillage mis à part) et présente le grand avantage d'être très informative sans déranger les animaux. Elle est donc souvent utilisée car elle permet de décrire l'habitat utilisé pour chasser en dehors du gîte.

L'enregistrement des ultrasons ne permet pas d'identifier avec certitude toutes les espèces mais donne une bonne image de la fréquentation du site par les chiroptères en chasse.

Les résultats sont à relativiser selon les espèces, leur comportement et leur écologie. Par exemple, les probabilités de détection d'une noctule commune *Nyctalus noctula* dont les émissions ultraso-

nores portent à plus de 100 m en milieu ouvert* sont bien plus fortes que celles d'un petit rhinolophe *Rhinolophus hipposideros* dont les émissions ultrasonores sont audibles à 5 m maximum.

De même, un vespertilion de Natterer *Myotis nattereri* pourra être détecté à environ 20 m en milieu ouvert alors qu'il ne pourra l'être qu'à moins de 5 m en milieu encombré (feuillage, boisements).

Les autres méthodes décrites ci-après sont beaucoup plus dévoreuses de temps et de moyens. Elles ne sont donc employées qu'à titre exceptionnel.

Tableau 40 Différentes méthodes d'acquisition des ultrasons (d'après RIZET, 2007)

La détection hétérodyne	<p>Cette technique consiste à soustraire une fréquence constante au son émis par la chauve-souris. Par exemple, si l'utilisateur règle l'appareil sur 45 kHz, le cri inaudible d'une chauve-souris émis à 46 kHz sera perçu à $46 - 45 = 1$ kHz, c'est-à-dire dans le spectre audible par l'homme. Cela permet donc de connaître la fréquence des cris émis ainsi que leur structure.</p> <p>Si l'utilisateur choisit une fréquence trop éloignée de celle des cris de la chauve-souris, cette dernière ne peut être détectée. De plus, la détection par hétérodyne ne permet pas de conserver facilement des données et n'autorise qu'une identification instantanée par l'observateur.</p> <p>La précision et la pertinence des identifications est donc directement fonction de l'expérience et des connaissances de l'observateur. Celui-ci peut reconnaître jusqu'à 8 espèces et 6 paires d'espèces.</p>
La division de fréquence	<p>Par cette technique, il est possible de diviser les fréquences captées par un facteur 10 ou 20. Contrairement à la détection par hétérodyne, ce système fonctionne sur une large plage de fréquences, de sorte que l'utilisateur ne peut manquer aucun contact acoustique.</p> <p>Néanmoins, cette méthode produit des sons dont les intensités sont atténuées en comparaison avec les intensités réelles. De plus, la structure sonore est également modifiée. En raison de ces deux inconvénients, l'identification à partir de l'écoute des sons obtenus par cette méthode se révèle inconfortable et très difficile puisque seule une faible partie de l'information sonore est retenue.</p>
L'expansion de temps	<p>Grâce à cette méthode, il est possible d'enregistrer les sons à vitesse réduite. Les données sont généralement enregistrées 10 ou 20 fois plus lentement (au choix de l'utilisateur), ce qui permet de diviser d'autant les fréquences des sons enregistrés. Les sons sont « étirés dans le temps », ce qui revient à diminuer leur nombre par seconde.</p> <p>Par conséquent, ils deviennent audibles pour l'oreille humaine. Les sons enregistrés sont traités au bureau, à l'aide d'un logiciel type « Batsound[®]», permettant d'analyser la durée des cris et leur spectrogramme. Cette méthode permet la détermination de 10 espèces supplémentaires par rapport à l'utilisation d'un détecteur hétérodyne.</p>

3 - La capture en dehors du gîte

Cette technique peut être utilisée pour répondre à plusieurs objectifs possibles : marquage, identification, sexage, mesures biométriques. Les filets utilisés, dits « japonais », sont caractérisés par des mailles très fines, de 20 x 20 mm, pour une superficie variant de un à plusieurs dizaines de mètres carrés. Pour maximiser les chances de capture, le filet doit être bien intégré dans l'environnement et placé sur les lieux de passage supposé des chauves-souris, qui sont souvent capables de le détecter, parfois sans même se servir de leur sonar, uniquement grâce à leur vue.

Il existe différentes modalités de capture :

- le filet au sol, généralement haut de 3 ou 4 m, s'étendant sur 6 à 9 m. C'est le filet le plus couramment utilisé ;
- le filet haubané, accroché à des mats de 10 m et maintenu par des haubans ;
- le filet de canopée *, utilisé pour attraper des chiroptères de « haut vol », particulièrement difficile à installer ;
- le harp-trap, constitué de deux fins réseaux verticaux de fils en nylon très serrés, d'une hauteur de



O. Delzons

2 m environ. Lorsque la chauve-souris percute les fils, elle est déséquilibrée et récoltée dans une poche, située au bas des fils ;

- le piège arboricole, placé à la sortie d'une cavité. La chauve-souris entre dans une sorte de nasse, suit un conduit souple avant d'arriver dans une poche de capture. Cette technique n'est généralement utilisée que si toute une colonie doit être marquée.

Une fois capturés, les animaux peuvent être bagués, ce qui fournit des indications ponctuelles sur la présence d'un individu à un endroit donné, ou sur sa longévité. Ils peuvent être aussi munis d'émetteurs permettant d'étudier leur comportement et de définir les zones à prospecter, ou de puces électroniques lues ensuite à distance par un scanner (renseignements sur le vieillissement, ou l'évolution spatiale d'une population).

Les chauves-souris peuvent aussi être équipées de gélules chimio-luminescentes permettant un suivi visuel temporaire.

4 - La pose de nichoirs

Les nichoirs, inventoriés en présence/absence des animaux, ou parfois équipés de balances ou de caméras infrarouges, restent particulièrement coûteux, la pose de très nombreux nichoirs étant nécessaire pour en avoir quelques uns qui soient occupés. Utilisés en particulier pour les espèces arboricoles, ils sont souvent très riches d'enseignements.



O. Delzons



O. Delzons

Nichoirs à chiroptères

Tableau 41 Synthèse des avantages et des inconvénients de différents moyens d'étude des chauves-souris (d'après RIZET, 2007) avec données biologiques

	Simplicité de mise en œuvre	Identification des individus	Dérangement / coût financier	Temps passé / informations récoltées	Données biologiques
Recherche de gîtes	++++	+++	++	++++	1, 3, 4
Capture simple	++	+++++	+++++	++++	2, 4
Baguage	+	+++++	+++++	++++	5, 6
Émetteurs	+	+++++	++	+++++	6, 7
Radio tracking	+	+++++	++	+++++	6, 7
Puce	+	+++++	++	+++++	5, 7
Gélules	+	+++++	++	+++	6, 7
Nichoirs	+++	+++	++	+++	6, 7
Détection des ultrasons	++++	+++	0	++++	1, 4, 7
Hétérodyne	++++	++	0	+++	3, 4
Division de fréquences	++++	++	0	+++	3, 4
Expansion de temps	++++	+++	0	+++	3, 4
Biologie moléculaire	+	+++++	+	++++	8

1. Gîte 2. Données biométriques 3. Tendances des populations 4. Répartitions 5. Longévité
6. Déplacement 7. Comportement 8. Génétique

Tableau 42 Caractéristiques d'application des méthodes d'inventaire des chiroptères

Méthodes	Inventaire des chiroptères			
	Recherche de gîtes	Détecteurs d'ultrasons	Captures	Nichoirs
Domaines d'application	Toutes les espèces	Toutes les espèces selon le type de détecteur	Toutes les espèces	Espèces arboricoles essentiellement
Limites	Périodes et sites prospectés Dérangement des animaux	Reconnaissance des espèces parfois impossible Déteçtabilité variable selon les espèces et leur comportement	Espèces arboricoles souvent inaccessibles Manipulation traumatisante Autorisation de capture nécessaire	Acceptation des nichoirs par les chiroptères Milieu forestier uniquement Moyens matériels très lourds
Compétences requises	++ en chiroptérologie	++ en chiroptérologie	+++ en chiroptérologie	++ en chiroptérologie
Coûts	+ et selon intensité des recherches	++	++	+++

BIBLIOGRAPHIE

ARTHUR L., LEMAIRE M. - *Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*. - Mèze : Biotope, 2009 - Collection Parthénope, MNHM.

BARATAUD M. - *Reconnaissance des espèces de Chiroptères français à l'aide d'un détecteur d'ultrasons : le point sur les possibilités actuelles. Actes du XVIe Colloque international de Mammologie*. - Grenoble : SEFPM, 1992.

DIETZ G., HELVERSEN O., NILL D. - *L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du Nord*. - Paris : Delachaux et Niestlé, 2009.

HOFFMAN et al. - « Chapter 19 - Field Methods and Techniques for Monitoring Mammals. » In *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring*, sous la direction de Eymann J. et al. - *Abc Taxa*, 2010 - 8(2), p. 482-529.

OBRIST M.K. et al. - « Chapter 5 - Bioacoustics approaches in biodiversity inventories. » In *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring*, sous la direction de Eymann J. et al. - *Abc Taxa*, 2010 - 8(2), p. 68-99.

RIZET G. - *Suivi national des chauves-souris communes. Évaluation nationale et mise en œuvre dans le PNR du Gâtinais français*. - Université de Paris VII, 2007 - Mémoire de Master.



32

FICHE 32

Les micromammifères

VERTÉBRÉS



D. Sirugue (Bourgogne Nature)

LES MICROMAMMIFÈRES

GÉNÉRALITÉS

Les micromammifères sont des mammifères terrestres de petite taille, à l'exclusion des chiroptères, des mustélidés et des lagomorphes. Ce sont donc essentiellement les petits rongeurs (souris, campagnols, mulots...) et les petits insectivores (musaraignes).

Ce groupe, assez difficile à échantillonner, est relativement peu utilisé lors des études de type étude d'impact.

Pourtant, plusieurs de ces espèces bénéficient d'un statut patrimonial (protection nationale pour la musaraigne aquatique *Neomys fodiens*, la musaraigne de Miller *Neomys anomalus*, le muscardin *Muscardinus avellanarius*, le desman des Pyrénées *Galemys pyrenaicus*, le hamster d'Europe *Cricetus cricetus*).

De plus, certaines problématiques rendent parfois l'étude de ce groupe nécessaire, comme des craintes en termes sanitaires (certaines espèces sont les hôtes d'un certain nombre d'organismes causant des maladies) ou des pullulations. Certaines espèces de rongeurs montrent, dans certains contextes paysagers, des explosions démographiques épisodiques susceptibles de nuire aux activités agricoles.

Les micromammifères constituent de plus un modèle biologique intéressant pour les études à l'échelle du paysage en raison de leur implication dans de

nombreux processus écosystémiques. Les petits mammifères participent notamment à la dispersion et à l'enfouissement des graines et, par leur activité de fouissage, à la décomposition de la matière organique du sol. Enfin, en tant que proies, ils sont à la base de



P. Gourdain (MNHN/SPN)

Écureuil roux - *Sciurus vulgaris*

nombreux réseaux trophiques et influencent directement l'abondance et la diversité des espèces d'oiseaux et de mammifères.

Lérot
Eliomys quercinus



O. Delzons

MÉTHODES

Les études peuvent être de quatre types :

- inventaire qualitatif (espèces présentes, espèces rares...);
- inventaire quantitatif (taille de la population, densités...);
- impacts des perturbations de l'environnement (certains assemblages d'espèces et l'abondance de certaines communautés sont caractéristiques de milieux perturbés ou exploités);
- études fondamentales (biologie des espèces...).

Le caractère furtif de ces animaux, souvent nocturnes, ne rend pas leur repérage aisé. Il est donc généralement nécessaire d'avoir recours à des méthodes indirectes (relèves d'indices, piégeage) pour avoir un aperçu des espèces fréquentant un site, ainsi que de leur densité.

Déroulement des études

Selon les objectifs de l'étude, et les moyens disponibles, un ou plusieurs protocoles plus ou moins conséquents sont mis en oeuvre, comprenant plusieurs approches :

- recherche des données disponibles, à partir de campagnes antérieures (piégeages, analyse des pelotes de réjection...), disponibles dans la littérature (mémoires, inventaires associations locales, etc.);
- analyse des pelotes de réjection de rapaces. Il s'agit de pelotes régurgitées par la bouche, et contenant les résidus non digestes des repas, poils et os de micro-mammifères ou d'autres vertébrés, élytres de coléoptères, arêtes de poissons... Celles de rapaces diurnes, aux sucs digestifs plus efficaces, sont moins riches en ossements. Ce sont donc les pelotes de rapaces nocturnes qui sont généralement utilisées, et en particulier celles, volumineuses et riches en os, de la chouette effraie (*Strix alba*), d'accès facile car entassées dans des bâtisses

comme les granges, pour les milieux ouverts. En milieu forestier, les pelotes de chouette hulotte (*Strix aluco*) seront recherchées prioritairement. L'étude des os, et en particulier des crânes, permettra de dresser une liste d'espèces, et leur abondance relative. Cette méthode reste cependant aléatoire, car reposant sur la découverte de pelotes exploitables, fastidieuse, et nécessite de très bonnes connaissances en anatomie. Elle permet par ailleurs de récolter des données sur les espèces de micromammifères présentes dans le rayon de chasse du rapace producteur des pelotes mais ne permet pas de préciser si ces espèces sont inféodées au secteur d'étude ;

- relevés indiciaires complémentaires, destinés à découvrir des indices de présence sur le site (taupinières, tumuli, etc.), et même d'en tirer un indice d'abondance (QUERE *et al.* 2000) ou à établir des contacts visuels avec certaines espèces (écureuil par exemple);
- en dernier recours, une campagne de piégeage peut être envisagée. Cela nécessite des moyens beaucoup plus conséquents, à savoir une semaine pour un inventaire selon des techniques classiques pour de petites espèces. Les pièges fournissent en premier lieu des renseignements sur la diversité des espèces présentes. Dans le cadre d'un suivi sur plusieurs années, des analyses portant sur les densités et les abondances des espèces peuvent être effectuées. Les pièges sont disposés selon un plan d'échantillonnage, par exemple systématique ou en ligne.

Selon les espèces recherchées, différents types de pièges peuvent être employés.

Les pièges mécaniques à bascule INRA se présentent comme des boîtes métalliques de 16 cm de longueur et à section carrée de 5 cm, en aluminium (ou acier ou zinc). Les pièges Sherman sont de même nature.

Du fait de leur nature métallique, ces pièges retiennent très mal la chaleur, ce qui réduit considérablement la durée de survie de l'animal piégé. Ils sont adéquats pour l'étude des micromammifères de la litière forestière comme les grandes musaraignes, les campagnols ou les souris. Les petites musaraignes sont mieux échantillonnées avec des pièges fosses, utilisés avec des clôtures de déviation. Les pièges en grillage sont tout indiqués pour la capture des Sciuridés (écureuils).



Mulot sylvestre - *Apodemus sylvaticus*

Citons aussi les pièges Ugglan, qui permettent de garder convenablement les animaux en vie, et de capturer plusieurs micromammifères à la fois, les pièges de type ratière, etc. La distance entre les pièges varie le plus souvent entre 5 et 20 m, selon les espèces étudiées et la taille de leurs domaines vitaux. Le recours à des appâts permet d'augmenter sensiblement l'efficacité de capture. Ils varient selon le régime alimentaire des espèces. Le beurre d'arachide est recommandé pour les campagnols, les souris ou les écureuils, alors que les prédateurs seront attirés par des appâts carnés. Quoi qu'il en soit, beaucoup d'espèces sont néophobes, et se méfient des pièges nouvellement installés. La mise en place des pièges ouverts et garnis d'appâts quelques jours avant la session de capture permet de déjouer la méfiance des animaux. Certaines espèces sont très fragiles, notamment vis-à-vis du refroidissement. La garniture du piège avec du coton, associée avec la mise en place d'un morceau de pomme, apport d'eau et de fructose, diminue la mortalité au sein des pièges. Les pièges sont déposés, puis relevés le lendemain. Le peu d'efficacité du piégeage implique souvent de poser un grand nombre de pièges, et de les relever souvent. Dans certains programmes conséquents, des

protocoles de marquage sont utilisés. Il peut s'agir de marques simples et universelles, la même pour tous les animaux, de marques/date spécifique (les animaux capturés le 15 juin auront tous une marque rouge par exemple), ou de marques individuelles, différentes pour chaque individu. Citons les étiquettes (par exemple, des étiquettes en acier numérotées, fixées sur l'oreille), les transpondeurs (capsule cylindrique contenant une puce électronique, injectée sous la peau), la coloration (peinture, produits décolorants) ou encore la mutilation (poinçonnage de l'oreille, tatouage, motifs dans les poils, amputation de phalanges...). L'utilisation de pièges cache-tubes permet de caractériser une population de micromammifères sans les capturer. Cette méthode, utilisée notamment par CHURFIELD *et al.* (2000), pour l'étude de la musaraigne aquatique *Neomys fodiens*, consiste en un simple tube de pvc (150 mm de long, 40 mm de diamètre) posé horizontalement sur le sol avec des insectes déposés à l'intérieur en guise d'appât. Les pièges sont relevés tous les 15 jours, et les fèces qu'ils contiennent, en fonction de leur aspect extérieur et des restes de repas qu'ils renferment, permettent de savoir quel genre de musaraigne a fréquenté le tube. En effet, les *Neomys sp.* (ou crossopes) sont les seules musaraignes à se nourrir en majorité d'invertébrés aquatiques, dont les restes se retrouvent dans les fèces.



Pelote de réjection (rapace diurne)

POCOCK *et al.* (2006) utilise un piège similaire, mais garni de bandes adhésives, pour recueillir les poils des animaux, qui seront analysés en laboratoire. Certains genres (*Apodemus*, *Neomys*, *Crocidura*...) posent des difficultés importantes de détermination. Quelles que soient les techniques utilisées, ce genre d'études laisse persister un certain nombre d'approximations. Tout le matériel devrait être conservé (voire déposé dans un musée, laboratoire) pour expertise ultérieure.

Tableau 43 Caractéristiques d'application des méthodes d'inventaire des micromammifères

Méthodes	Inventaire des micromammifères		
	Pièges trappes	Cache-tubes	Analyse des pelotes de réjection
Domaines d'application	Tous les milieux	Tous les milieux	Tous les milieux, pour peu que des rapaces, de préférence nocturnes, soient présents
Limites	Piégeabilité des espèces selon les périodes d'activité de chaque espèce	Piégeabilité des espèces Difficulté de reconnaissance des espèces Restreint à l'étude d'un nombre limité d'espèces	Détection des pelotes Présence de rapaces Travail long et fastidieux Problème de reconnaissance des espèces selon le matériel osseux disponible
Compétences requises	+++ en mammologie	+++ en mammologie	+++ en mammologie
Coûts	++ Investissement de départ, pose et relevé des pièges	++ Pose et relevé des pièges	+++ Travail de laboratoire long

BIBLIOGRAPHIE

CHARISSOU I. - *Identification des restes trouvés dans les pelotes de réjection de rapaces*. - La Revue des Naturalistes du Limousin, 1999 - 44(1) - Supplément EPOPS Scientifique.

CHURCHFIELD S., BARBER J., QUINN C.D. - *A new method for Water Shrews (Neomys fodiens) using baited tubes*. - Mammal Rev., 2000 - 30, p. 249-254.

HOFFMAN et al. - « Chapter 19 - Field Methods and Techniques for Monitoring Mammals. » In *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring*, sous la direction de Eymann J. et al. - Abc Taxa, 2010 - 8(2), p. 482-529.

LE LOUARN H., QUÉRÉ J.P. - *Les rongeurs de France : faunistique et biologie*. - INRA Éd., 2003 - ISSN : 1144-7605/ISBN : 2-7380-1091-1.

MORIN C. - *État des connaissances sur cinq mammifères de milieux aquatiques et intérêt de leur prise en compte dans le Plan régional d'actions en faveur des tourbières (PRAT)*. - LPO Franche-Comté - Espaces naturels Comtois, 2008.

POCOCK M.J.O., JENNINGS N. - *Use of hair tubes to survey for shrews : new methods for identification and quantification of abundance*. - Mammal Rev., 2006 - 36, p. 299-308.

QUÉRÉ J.P. et al. - *An index method of estimating relative population densities of the common vole (Microtus arvalis) at landscape scale*. - Revue d'écologie, la Terre et la Vie, 2000 - 55, p. 25-32.



33

FICHE 33

Indice biologique
global normalisé (IBGN)



R. Lecomte (Encan)

INDICE BIOLOGIQUE GLOBAL NORMALISÉ (IBGN)

GÉNÉRALITÉS

L'appréciation de la qualité d'un cours d'eau peut se faire à l'aide de méthodes biologiques fondées sur l'application d'un principe général, selon lequel à un milieu donné correspond une biocénose* particulière.

Les peuplements d'un habitat peuvent être considérés comme l'expression synthétique de l'ensemble des facteurs écologiques qui y règnent. Les altérations du milieu, qui se traduisent par l'évolution de certains de ces facteurs, provoquent alors des modifications plus ou moins marquées des communautés vivantes.

Aussi, l'analyse de la composition d'un répertoire faunistique considéré isolément permet de définir l'état du milieu tandis que l'analyse biocénotique comparative (« amont - aval » ou « avant - après ») permet d'évaluer l'effet des changements de l'environnement qui affectent les communautés.

On peut différencier les différentes approches mises en œuvre :

- analyses reposant sur la comparaison de biocénoses. Les biocénoses appartenant à différentes stations d'un même cours d'eau peuvent être comparées. De même, une biocénose d'un site peut être comparée avec une biocénose témoin ou une biocénose potentielle établie pour une aire biogéographique donnée. Tous les types d'organismes peuvent être utilisés, depuis les poissons jusqu'à la microflore (diatomées*) ou la microfaune (rotifères) en passant par les macroinvertébrés et les hydrophytes (plantes supérieures aquatiques) ;

- analyses fournissant pour chaque station de rivière étudiée un niveau ou indice de qualité :

- certaines de ces méthodes sont fondées sur la présence d'espèces indicatrices. Le relevé faunistique est alors confronté à une liste où les espèces sont classées en fonction de leur tolérance à un facteur particulier du milieu et affectées d'un coefficient qui permet, à l'aide de formules, le calcul d'un indice de qualité ;

- d'autres méthodes, dites des « indices biotiques », sont fondées sur l'étude simplifiée de la faune invertébrée benthique*. Elles sont basées sur un examen global de la macrofaune benthique récoltée suivant un protocole d'échantillonnage standard. L'indice est donné par un tableau faisant intervenir la nature de la faune récoltée (groupes indicateurs de sensibilité différente aux perturbations) et de sa variété. C'est le cas de l'Indice biologique global normalisé (IBGN). Cette méthode consiste à prélever des échantillons et à donner une note indicelle allant de 0/20 à 20/20 à la station considérée en fonction des familles d'organismes d'invertébrés macrobenthiques observées.

MÉTHODES

Une **station** est définie sur le cours d'eau. Elle doit refléter au mieux l'ensemble des conditions retrouvées sur le tronçon du cours d'eau auquel elle appartient, et notamment l'alternance de mouilles et de radiers. On cherche ainsi à échantillonner les zones de courant lent et celles de courant plus rapide, qui abritent des biocénoses différentes. Chaque station est décrite intégralement (substrat, pente, vitesse du courant, mode d'écoulement, milieux environnants), et cartographiée.

Le nombre de stations est fixé en fonction des objectifs de l'étude et en sachant que seules les stations praticables avec le matériel préconisé par la norme peuvent faire l'objet d'un IBGN. Il est souvent utile de retenir une station en amont d'une perturbation, ou station témoin, et deux stations en aval de la perturbation : une pour évaluer les effets maximums et l'autre pour évaluer la récupération du milieu.

Au sein de la station, sont effectués **8 prélèvements** qui cherchent à donner la meilleure image de la diversité des habitats de la station. Ces différents habitats sont établis selon leur couple « substrat-vitesse », en prospectant d'abord les habitats les plus favorables à la faune et les plus représentés. Globalement, les bryophytes* (mousses aquatiques), les spermaphytes immergées (plantes aquatiques) et la litière sont échantillonnées en priorité, puis les sédiments grossiers, puis le sable, et enfin, si nécessaire, les dalles et les algues.

Les prélèvements se font exclusivement à l'aide de filets Surber, avec une surface de 1/20^e de m² pour chacun d'entre eux (vide de maille = 500 µm).

Les prélèvements sont conditionnés au formol

avant d'être emportés pour le tri au laboratoire. Chaque site de prélèvement est décrit en détail (hauteur d'eau, vitesse du courant, habitat, pourcentage de surface sur la station). Le tri s'effectue au laboratoire, après extraction totale de la faune du substrat. Les organismes sont considérés quelle que soit leur forme : larvaire, nymphale ou adulte. L'unité taxonomique retenue est le plus souvent la famille. Pour quelques groupes faunistiques, c'est la classe ou l'embranchement qui est retenu car la détermination plus fine n'apporte pas d'informations significatives.

138 unités taxonomiques entrent dans le calcul de l'IBGN. Parmi elles, 38 sont des groupes indicateurs, dont la présence ou l'absence reflète un degré d'altération du milieu. Ils sont classés en fonction de leur polluo-sensibilité (de 9, taxons* très sensibles, à 1, taxons très tolérants).

Un groupe indicateur est considéré comme présent dans la station si au moins 3 individus (ou 10 pour certains groupes) ont été recensés. C'est le taxon présent appartenant au groupe indicateur le plus élevé qui est retenu comme taxon indicateur.

Par exemple, une station où 7 Plécoptères Perlidae auront été prélevés bénéficiera d'un groupe Indicateur « 9 ».



Plécoptère adulte.
Les larves sont très sensibles à la qualité de l'eau dans laquelle elles vivent.



Larve de Blephariceridae (diptères) à la loupe binoculaire (vue centrale). Ses ventouses ventrales lui servent à adhérer au substrat dans les cours d'eau rapides.

Tableau 44 Taxons indicateurs de l'IBGN, par ordre décroissant de polluo-sensibilité

Groupe indicateur	Taxons
9	<i>Chloroperlidae, Perlidae, Perlodidae, Taeniopterygidae</i>
8	<i>Capniidae, Brachycentridae, Odontoceridae, Philopotamidae</i>
7	<i>Leuctridae, Glossosomatidae, Beraeidae, Goeridae, Leptophlebiidae</i>
6	<i>Nemouridae, Lepidostomatidae, Sericostomatidae, Ephemeridae</i>
5	<i>Hydroptilidae, Heptageniidae, Polymitarcidae, Potamanthidae</i>
4	<i>Leptoceridae, Polycentropodidae, Psychomyiidae, Rhyacophilidae</i>
3	<i>Limnephilidae, Hydropsychidae, Ephemerellidae, Aphelocheiridae</i>
2	<i>Baetidae, Caenidae, Elmidae, Gammaridae, mollusques</i>
1	<i>Chironomidae, Asellidae, achètes, oligochètes</i>

Figure 55

Échelle de sensibilité à la pollution de certains invertébrés aquatiques utilisés dans l'IBGN



Asellus sp



Gammarus



Éphéméroptère



Halesus radiatus



Perlidae

Polluo-tolérants

Polluo-sensibles



Pour les unités taxonomiques indicatrices, les individus doivent être comptés au minimum jusqu'à 10 individus. Par gain de temps, les comptages peuvent se faire en faisant des sous-échantillonnages.

Remarque : il est préconisé de garder les échantillons après dénombrement au moins pendant 5 ans pour permettre une réutilisation éventuelle (scientifique, expertise...).

Une liste peut être établie pour l'ensemble des prélèvements d'une même station ; pour plus de précisions, elle peut également être établie par habitat ou par type de faciès.

L'IBGN est ensuite ainsi calculé :

$$\text{IBGN} = \text{Groupe Indicateur} + (\text{classe de variété} - 1)$$

La classe de variété est obtenue d'après la variété totale (nombre d'unités taxonomiques échantillonnées).

Une note est obtenue, allant de 0 (milieu très altéré) à 20. Cette note est à relativiser, en fonction du contexte, par l'opérateur.

Par exemple :

Rivière 1

IBGN = 14 Eau d'excellente qualité mais

GI = 9 habitats peu biogènes

Nombre de taxons = 20 (rivière de haute montagne par exemple)

Rivière 2

IBGN = 14 Eau de mauvaise qualité mais

GI = 4 habitats très biogènes

Nombre de taxons = 37 (rivière de plaine eutrophe riche en herbiers par exemple).

L'IBGN peut s'appliquer à tous les cours d'eau, à l'exception des milieux estuariens, des sources, des annexes des grands fleuves. Il est à interpréter avec prudence pour les milieux naturellement pauvres en faune (torrents de montagne, milieu sableux). De plus, il n'est applicable que si le milieu est échantillonnable avec un filet Surber, et donc avec une hauteur d'eau inférieure à 1 mètre. Pour les cours d'eau profonds, une variante existe (Indice biologique global adapté ou IBGA, voir figure 56).

La valeur de l'IBGN peut présenter une variabilité temporelle au cours d'un cycle annuel, y compris en l'absence de toute perturbation. Cette variabilité peut être la conséquence soit des cycles biologiques des invertébrés benthiques (émergence des adultes d'insectes, vie hyporhéique* de certains stades larvaires), soit de l'évolution de l'habitabilité du site en cours d'année. Les rivières de plaine présentent souvent des indices maximums en été quand les herbiers aquatiques sont bien développés.

La période de prélèvement préconisée est celle des basses eaux estivo-automnales pendant laquelle la concentration des pollutions est maximale, les températures élevées, les perturbations hydrauliques faibles, les conditions de prélèvement bonnes. Cependant, la période de prélèvement est choisie surtout en fonction de l'objectif d'étude.

De juin à octobre, certaines espèces sont dans leur phase aérienne, d'autres à l'état de petites larves, et donc difficiles à déterminer. Le prélèvement ne peut se faire que si le débit est stabilisé depuis au moins 10 jours. Il faut attendre au minimum 15 jours après la crue ou le tarissement d'un cours d'eau.

Pour faire suite aux exigences de la directive européenne 2000/60/CE (directive cadre sur l'Eau)

visant notamment au bon état écologique des masses d'eau, l'IBGN va peut-être évoluer dans les années à venir. En effet, cette directive vise à uniformiser les réseaux de surveillance de l'eau, et préconise l'utilisation d'un indice mesurant l'écart entre les peuplements observés et un peuplement de référence, pour la composition, l'abondance, la diversité et le ratio entre taxons sensibles et résistants aux pressions de toutes natures.

Reposant sur un réseau de stations de références, ce nouvel indice devra être à la fois compatible avec la directive européenne, et permettre des comparaisons avec l'IBGN (ARCHAIMBAULT *et al.*, 2008).

Les échantillons seront portés à 12 par station (représentant au moins 5 % de la station), et le niveau taxonomique des groupes clés sera le genre, meilleur compromis entre l'information bioécologique et les difficultés d'identification.

L'Indice biologique global adapté - IBGA

Il s'agit d'une variante de l'IBGN, adaptée aux grands cours d'eau larges et profonds.

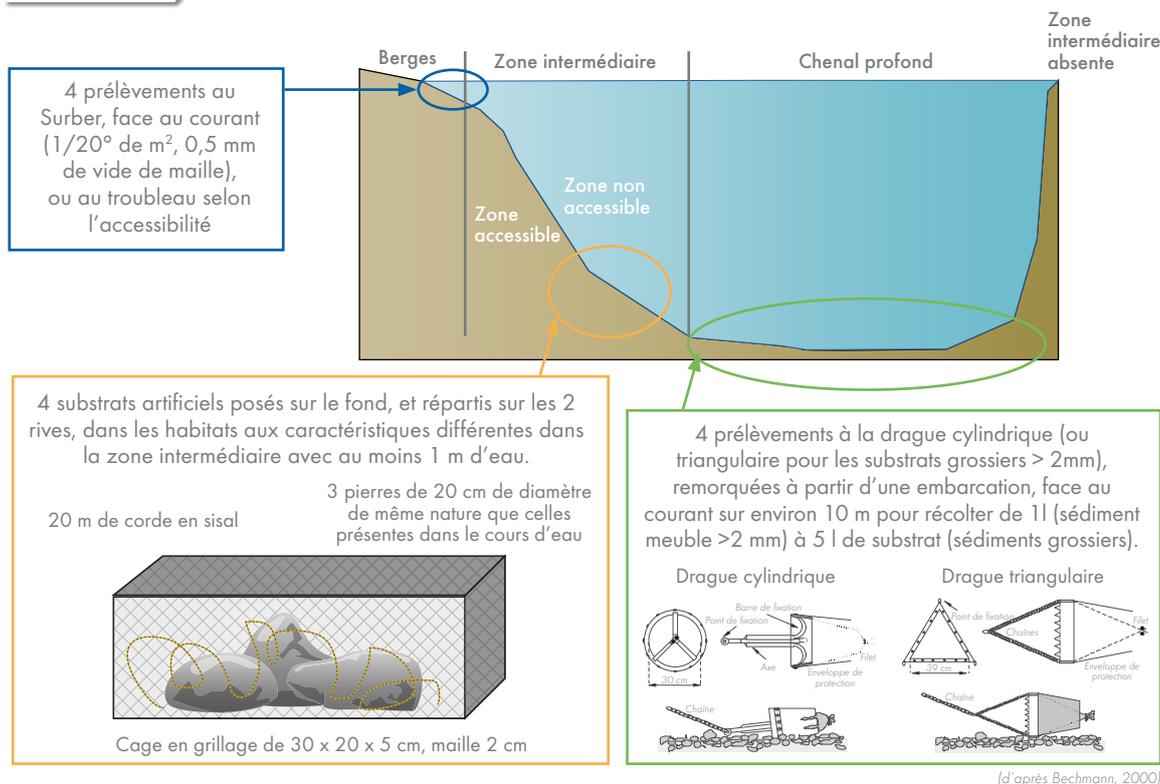
Les stations sont définies conformément aux règles définies dans la circulaire DCE* 2007/22 du 11 avril 2007 (nouveau protocole adapté à la DCE).

Le protocole de l'IBGA associe trois techniques de prélèvements qui visent à échantillonner :

- la zone rivulaire, dans moins d'un mètre d'eau, à l'aide d'un filet Surber ou d'un troubleau (4 prélèvements) ;
- le chenal, caractérisé par des habitats trop profonds pour être accessibles au filet de type Surber. Cette partie du fleuve est inventoriée à l'aide d'une drague (4 prélèvements) ;
- la dérive*, c'est-à-dire les invertébrés qui dérivent dans le courant et qui, par conséquent, proviennent des zones en amont. Cette macrofaune constitue la potentialité de recolonisation du milieu. Elle est échantillonnée à l'aide de 4 substrats artificiels posés sur le fond.

Au total, ce sont 12 échantillons qui font l'objet d'un tri, d'une recherche de tous les taxons présents et d'un dénombrement. Les niveaux de détermination, variables selon les groupes, de la seule présence, au genre, sont définis dans l'annexe III de la circulaire DCE* 2007/22.

Figure 56 IBGA - Protocole



Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour la réalisation de l'IBGN.

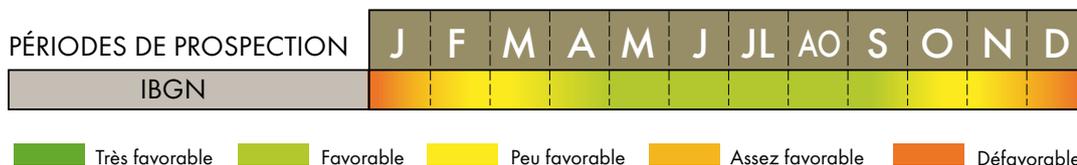


Tableau 45 Caractéristiques d'application de l'IBGN

Méthodes	Indice biologique global normalisé
Domaines d'application	Méthode utilisée en complément des techniques chimiques de détection des pollutions et de qualification de milieux aquatiques car elle caractérise les pollutions par leur effet sur l'écosystème* et non par la cause. Stations d'eau courante où la profondeur n'excède pas 1 m, la vitesse du courant n'est pas excessive et pour lesquelles la turbidité de l'eau n'empêche pas de visualiser les supports.
Limites	Pour certains milieux d'eau courante, comme les zones estuariennes, les grands cours d'eau, la norme n'est pas applicable. Dans les milieux peu diversifiés naturellement (zones sources, rivières de haute altitude) ou artificiels, les résultats sont à interpréter avec prudence.
Compétences requises	Ingénieur écologue généraliste ou hydrobiologiste et technicien hydrologue
Coûts	Variable selon l'accessibilité des stations et la complexité des milieux Pour environ 3 à 6 stations : <ul style="list-style-type: none"> • préparation, choix des stations : 1/2 journée ingénieur • prélèvements : 1 journée pour une équipe de 2 techniciens • tri et détermination : 2 journées technicien • analyse, synthèse : 1/2 journée ingénieur

BIBLIOGRAPHIE

ARCHAIMBAULT V., USSEGlio-POLATERA P., WASSON J.G. - « Macroinvertébrés benthiques, diagnostic écologique des cours d'eau et directive cadre européenne sur l'eau : où en sommes-nous ? » In *Les approches hydrobiologiques pour la DCE - Séminaire national Aquaref 3 & 4 juin 2008* - Antony : Cemagref, 2008.

GAY C. - *Indice biologique global normalisé IBGN NF - T 90 - 350 Guide technique*. - Agences de l'eau, 2000.

GENIN B., CHAUVIN C., MÉNARD F. - *Cours d'eau et indices biologiques. Pollutions-méthodes-IBGN*. - Dijon : Educagri Éditions, 1997.

TACHET H. et al. - *Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie*. - Paris : CNRS Éditions, 2000.

XP T90-333 - *Prélèvement des macroinvertébrés aquatiques en rivières peu profondes* - 2009.

Directive cadre européenne sur l'Eau. Directive 2000/60/EC du Parlement européen, Journal officiel de la communauté européenne L 327.



34

FICHE 34

Indice biologique macrophytique en rivière (IBMR)
et Indice biologique macrophytique en lac (IBML)



R. Lecomte (Encem)

INDICE BIOLOGIQUE

MACROPHYTIQUE EN RIVIÈRE (IBMR) ET INDICE BIOLOGIQUE MACROPHYTIQUE EN LAC (IBML)

GÉNÉRALITÉS

Les macrophytes* correspondent à toutes les plantes aquatiques facilement visibles à l'œil nu, incluant les plantes vasculaires*, les bryophytes*, les algues characées et les formes macroscopiques d'algues. Ce terme inclut les macrophytes* poussant dans les eaux et dans la zone de marnage, comprenant hydrophytes (entièrement immergées), hélophytes (plantes de marais poussant « les pieds dans l'eau »), amphiphytes (ou amphibies) et les espèces de la zone supra-littorale (DUTARTRE *et al.*, 2007).

Parmi les macrophytes, on trouve par exemple :

- les plantes émergentes ou hélophytes : roseaux, scirpes, massettes... ;
- les plantes à organes submergés et flottants : nénuphars... ;
- les plantes submergées, qui peuvent former des herbiers denses : callitriches, potamots, renoncules aquatiques....

Ces plantes se répartissent dans les lacs et les cours d'eau en fonction (HAURY *et al.*, 2000) :

- de facteurs biotiques : compétition, coopération, consommation, parasitisme ;
- de facteurs abiotiques : lumière, température, régime hydraulique, profondeur de l'eau, nature géologique du bassin versant, paramètres physico-chimiques (trophie et minéralisation en particulier) et gaz dissous.

Les macrophytes apparaissent comme des intégrateurs de l'ensemble de ces paramètres et de leurs interactions. Ce sont donc de bons descripteurs, notamment des conditions hydrologiques, et physico-chimiques, et de leurs perturbations (eutrophisation, acidification) ainsi que de la qualité habitationale vis-à-vis des autres compartiments de la biocénose*.

Pour résumer, on peut dire que les macrophytes sont des bons indicateurs du niveau trophique des eaux.

Les méthodes de bio-indication adaptées aux rivières ou aux lacs sont actuellement en phase d'évolution, afin d'intégrer les exigences de la directive cadre sur l'Eau. Il s'agit de l'indice biologique macrophytique en rivière (IBMR) et de l'indice biologique macrophytique en lac (IBML).

Herbier à potamots et characées
dans une gravière réaménagée.



O. Delzons

MÉTHODES

Indice biologique macrophytique en rivière (IBMR)

Définition

L'Indice biologique macrophytique en rivière (IBMR - normalisé AFNOR NF T 90-395 - octobre 2003) permet d'évaluer la qualité de la rivière et plus particulièrement son degré d'eutrophisation lié aux teneurs en azote et phosphore dans l'eau. Il prend également en compte les caractéristiques physiques du milieu comme l'intensité de l'éclairement et des écoulements. Il concerne l'ensemble des végétaux aquatiques ou amphibies visibles à l'œil nu, ou vivant habituellement en colonies visibles. Cela comprend des végétaux supérieurs, des bryophytes (mousses et hépatiques), des lichens, des macroalgues et, par extension, des colonies de cyanobactéries, d'algues (diatomées), de bactéries et de champignons.

Méthodologie

La station à échantillonner est tout d'abord décrite dans le détail, selon sa taille et sa situation, ainsi que la lithologie du bassin versant.

Elle est ensuite appréhendée à travers l'étude d'un tronçon de rivière incluant deux faciès : un faciès à courant lent et un faciès à courant rapide (un seul faciès est requis si la station est très homogène). Les investigations portent tout d'abord sur des aspects morphologiques : courant, profondeur d'eau, éclaircissement, ripisylve, puis sur une description de la végétation.

Le pourcentage d'eau libre, le pourcentage de recouvrement des différents groupes floristiques (bryophytes, algues, phanérogames*) et la composition fonctionnelle (hydrophytes flottants ou immergés, hélrophytes) sont notés. Les faciès sont ensuite prospectés, à pied ou grâce à des points contacts pour les cours d'eau profonds ou très turbides, par exemple grâce à l'emploi d'un grappin.

Une liste de taxons* est alors établie, avec une estimation du recouvrement pour chaque espèce. La plupart des espèces sont déterminées sur place, à l'exception de certaines algues et bryophytes qui nécessitent un examen plus détaillé en laboratoire. Un prélèvement de ces dernières es-

pèces est donc effectué. Enfin, une représentation schématique est réalisée.

Le calcul de l'IBMR repose sur la prise en compte de trois valeurs pour chaque taxon indicateur.

- La cote spécifique d'oligotrophie (CSi) varie de 0 à 20 et renseigne sur la qualité de l'eau. Celle-ci est d'autant plus faible que le taxon préfère un fort niveau trophique des eaux. À titre d'exemple, des bactéries filamenteuses, signes d'une forte pollution organique, se verront ainsi attribuer une valeur 0, alors que la note 20 sera assimilée à une très bonne qualité de l'eau, avec un très faible niveau trophique.
- L'amplitude écologique ou coefficient de sténoécie de chaque taxon (Ei) mesure la spécialisation vis-à-vis de plusieurs niveaux trophiques (Ei = 1) ou un seul niveau trophique (Ei = 3). Cette notion traduit le caractère plus ou moins ubiquiste du taxon concerné.
- La classe de recouvrement (Ki), liée à l'abondance de l'espèce dans la station, reflète l'adaptation du taxon aux conditions particulières de l'habitat. Un taxon dont le recouvrement < 0,1 % aura un Ki = 1 ; un recouvrement compris entre 0,1 et 1 %, un Ki de niveau 2 ; un recouvrement entre 1 et 10 %, un Ki de niveau 3. Un Ki de niveau 4 correspond à un recouvrement situé entre 10 % et 50 %, et enfin un recouvrement supérieur ou égal à 50 % aura un Ki de 5.

Puis le calcul de l'IBMR est réalisé à partir de la liste floristique qui comprend 208 taxons (algues, bryophytes, plantes vasculaires) et donne une valeur de 0 à 20, selon :

$$I.B.M.R. (Station) = (\sum_i CSi * Ki * Ei) / (n * \sum_i Ki * Ei)$$

avec

n = nombre d'espèces contributives

i = espèce contributive

CSi = cote spécifique

Ki = coefficient d'abondance (1, 2 ou 3 selon les classes de recouvrement)

Ei = valence de sténoécie, de 1 (espèce très euryèce*) à 3 (espèce sténoèce*).

L'IBMR s'exprime donc par une note allant de 0 à 20, selon 5 classes de qualité (ou niveaux trophiques). Lorsque la valeur de l'indice est supérieure à 14, cela signifie que le degré d'eutrophisation est « très faible ». À l'inverse, quand l'indice est inférieur ou égal à 8, cela indique que le degré d'eutrophisation est « très élevé ».

À l'heure actuelle, l'IBMR n'est pas encore utilisé pour l'évaluation de l'état des eaux *stricto sensu* mais fait partie des éléments obligatoires du contrôle de surveillance des cours d'eau.

L'IBMR traduit essentiellement le degré de trophie lié à des teneurs en ammonium et orthophosphates, ainsi qu'aux pollutions organiques les plus flagrantes.

Indépendamment du degré trophique que présente le cours d'eau, la note obtenue par le calcul de l'IBMR peut varier également selon certaines caractéristiques physiques du milieu comme l'intensité de l'éclairement et des écoulements.

Cette méthode est amenée à évoluer dans les années à venir, notamment en prenant en compte un état dit « de référence », en cours d'élaboration. De plus, des études sont menées sur la recherche de « métriques permettant de distinguer les composantes principales de ce niveau trophique, de manière à améliorer la réponse de l'indice pour les principaux types de pression (pollution nutritionnelle, organique, hydrologie, morphologie) » (DELMAS *et al.*, 2008).

Indice biologique macrophytique en lac (IBML)

Définition

L'Indice biologique macrophytique en lac (IBML) permet d'évaluer la qualité d'un plan d'eau et plus particulièrement son degré d'eutrophisation lié aux teneurs en azote et phosphore dans l'eau. Cette méthodologie s'applique à tous les plans d'eau sur le territoire français dans lesquels les communautés de macrophytes sont considérées comme des indicateurs pertinents au sens de la DCE*.

Les macrophytes concernés par ce protocole sont les hydrophytes (algues macroscopiques, ptéridophytes, bryophytes, phanérogames) et les hélophytes « vrais » (hélophytes se développant les pieds dans l'eau).

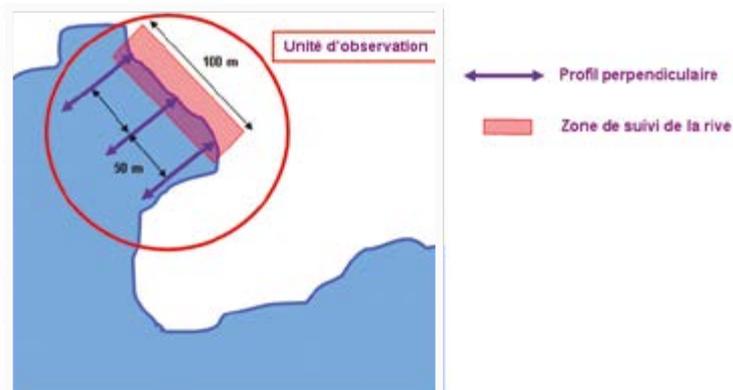
Méthodologie

L'échantillonnage des communautés de macrophytes en plans d'eau dans les réseaux de mesure DCE doit s'effectuer selon la norme expérimentale XP T90-328 publiée en janvier 2011 et développée sur la base du protocole proposé en 2007 par l'équipe Phytoécologie du Cemagref.

L'analyse des communautés de macrophytes en plans d'eau repose, d'après DUTARTRE (2007), sur l'étude d'unités d'observation, en particulier au niveau de la rive, et de transects perpendiculaires, vers le centre du plan d'eau.

La mise en œuvre du protocole comporte 3 phases :

- distribution des unités d'observation (sites d'étude),
 - sélection des unités d'observation,
 - structure et réalisation des unités d'observation.
1. Un positionnement « théorique » de points situés sur les rives du plan d'eau est déterminé après application du protocole de JENSEN (1977) sur une carte ou une photo aérienne.
 2. Une sélection de ces points basée sur la description des rives du plan d'eau est ensuite effectuée : pente, géologie, ripisylve, largeur du littoral, végétation et occupation du sol. Certains points définis par le protocole de JENSEN, et représentant au mieux les différents types de rives en présence, seront choisis comme unités d'observation (figure 58).
 3. Au sein de chaque unité d'observation, diverses opérations sont effectuées (DUTARTRE, 2007, figure 57) :
 - un relevé de la végétation de la zone littorale explorable à pied, par exemple en pantalons de pêche, ou en bateau dans la zone où les fonds restent visibles. La longueur de ce relevé sera d'au moins 100 m ;
 - des relevés sur trois profils perpendiculaires à la rive dans le secteur de relevé de la zone littorale. Sur chacun des profils, une trentaine de prélèvements par « point contact » sera réalisée de manière aléatoire à l'aide d'un râteau ou d'un grappin, selon la profondeur.

Figure 57 Positionnement des unités d'observation sur un plan d'eau**Figure 58** Détail d'une unité d'observation - fond de carte BD carto® IGN, Francièrne® (Claritas)

Une liste des taxons présents dans le relevé de la zone littorale, identifiant hydrophytes et hélophytes, avec leur abondance relative respective à l'échelle de la zone observée, est établie.

Des informations complémentaires peuvent être notées sur la fiche de relevé, comme les profondeurs maximales observées pour les taxons identifiés, une estimation des surfaces couvertes par certains taxons rares ou exceptionnels, de même que des indications sur les substrats. Une liste des taxons présents sur les points contacts réalisés, avec les indices d'abondance correspondant, est établie pour chaque profil perpendiculaire à la rive.

Le lac est ensuite caractérisé à partir de ces résultats. Il est nécessaire d'effectuer une campagne en période estivale (entre début juillet et fin septembre).

Le protocole décrit est une version non définitive, amenée à évoluer. De même, l'estimation chiffrée statistique de la « qualité » du plan d'eau en fonction des macrophytes est encore, à l'heure actuelle, en cours d'élaboration (DUTARTRE *et al.* 2008).



- 1) Menthe aquatique - *Mentha aquatica*
- 2) Plantain d'eau - *Alisma sp.*
- 3) Lycoppe d'Europe - *Lycopus europaeus*
- 4) Salicaire commune - *Lythrum salicaria*
- 5) Massette - *Typha sp.*



O. Delzons

Tableau 46 Caractéristiques d'application des méthodes d'étude des macrophytes

Méthodes	Indice biologique macrophytique en rivière	Macrophytes des plans d'eau
Domaines d'application	Cours d'eau	Plans d'eau continentaux d'eau douce
Limites	Zones d'estuaires, ou zones naturellement pauvres en espèces	Marnage < 2 m
Compétences requises	Botanique, phytosociologie Techniques d'inventaires botaniques	Botanique, phytosociologie Technique d'inventaires botaniques
Coûts	1 à 2 jours pleins de terrain pour deux personnes et interprétation des données	1 à 4 jours pleins de terrain pour deux personnes et interprétation des données

BIBLIOGRAPHIE

DELMAS F. *et al.* - *Bio-indicateurs végétaux des cours d'eau : état d'avancement des méthodes d'évaluation de l'état écologique. Les approches hydrobiologiques pour la DCE et le continuum eaux douces - eaux littorales.* Résumé des interventions du séminaire Aquaref 3-4 juin 2008 - Antony, 2008.

DUTARTRE A., BERTRIN V. - *Mise en œuvre de la directive cadre européenne sur l'eau dans les plans d'eau - Méthodologie d'étude des communautés de macrophytes en plan d'eau.* - Cemagref, 2007 - REBX version 3.

DUTARTRE A., BERTRIN V., LAPLACE-TREYTURE C. - *Les éléments végétaux en lacs : phytoplancton, macrophytes. Les approches hydrobiologiques pour la DCE et le continuum eaux douces - eaux littorales.* Résumé des interventions du séminaire Aquaref 3-4 juin 2008 - Antony, 2008.

HAURY J. *et al.* - *Les macrophytes aquatiques bio-indicateurs des systèmes lotiques - Intérêts et limites des indices macrophytiques. Synthèse bibliographique des principales approches européennes pour le diagnostic biologique des cours d'eau.* - UMR INRA-ENSA EQHC Rennes & CREUM Phytoécologie - Univ. Metz. Agence de l'Eau Artois-Picardie, 2000.

JENSEN S. - *An objective method for sampling the macrophytes vegetation in lakes.* - *Vegetatio*, 1977 - 33, p. 107-118.

KANEL B., GOGGEL W., WEBER C. - *Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Macrophytes : Instructions pour le prélèvement d'échantillons.* - Office Fédéral de l'Environnement de Suisse, 2009.

MOORE J.A. - *Charophytes of Great Britain and Ireland.* - London : B.S.B.I. Handbook, 1986 - 5

PONT B., FATON J.M., PISSAVIN S. - *Protocole de suivi à long terme des peuplements de macrophytes aquatiques et d'odonates comme descripteurs de fonctionnement des hydrosystèmes.* - Réserves naturelles de France, 1999.

RODUSKY A.J. *et al.* - *A comparison of three methods to collect submerged aquatic vegetation in a shallow lake.* - *Environmental Monitoring and Assessment*, 2005 - 110, p. 87-97.



35

FICHE 35

Indice poissons rivière (IPR)



L. Szeder

INDICE POISSONS RIVIÈRE (IPR)

GÉNÉRALITÉS

Cet indice permet d'interpréter un échantillonnage piscicole et donne une image de la qualité du peuplement en poissons d'une station.

L'IPR a fait l'objet de différentes publications scientifiques sous l'appellation initiale de FBI (Fish-Based Index). La dernière version de l'indice, publiée en 2002 dans le *Bulletin français de pêche et de pisciculture*, a été normalisée dans le cadre de l'AFNOR en mai 2004 (NF T90-344).

La mise en œuvre de l'IPR consiste globalement à mesurer l'écart entre la composition du peuplement sur une station donnée, observée à partir d'un échantillonnage par pêche électrique, et la composition du peuplement attendue en situation de référence, c'est-à-dire dans des conditions pas ou très peu modifiées par l'homme (BELLARD & ROSET, 2006).

La version normalisée de l'IPR prend en

compte 7 métriques différentes (voir tableau ci-dessous).

Le score associé à chaque métrique est fonction de l'importance de l'écart entre le résultat de l'échantillonnage et la valeur de la métrique attendue en situation de référence.

Cet écart est évalué non pas de manière brute mais en terme probabiliste, c'est-à-dire qu'il est d'autant plus important que la probabilité d'occurrence de la valeur observée pour la métrique considérée est faible en situation de référence. Ces probabilités sont déterminées sur la base de modèles qui définissent, en conditions de référence, les valeurs de chaque métrique en tout point du réseau hydrographique français.

Tableau 47 Liste des métriques intervenant dans le calcul de l'IPR

Métriques	Réponse à l'augmentation des pressions humaines
Nombre total d'espèces	↑ ou ↓
Nombre d'espèces rhéophiles*	↓
Nombre d'espèces lithophiles*	↓
Densité d'individus tolérants	↓
Densité d'individus invertivores*	↓
Densité d'individus omnivores	↑
Densité totale d'individus	↑ ou ↓



O. Delzons

MÉTHODES

L'IPR est calculé à partir d'échantillons de peuplements de poissons obtenus par pêche électrique. Pour une application satisfaisante de l'indice, il est recommandé de se conformer aux préconisations européennes en matière d'estimation de la composition et de l'abondance des espèces piscicoles (NF EN 14011). Il prend en compte 34 espèces (ou groupes d'espèces) de poissons qui sont les espèces les mieux représentées sur le territoire.

Une station de pêche est décrite selon la surface du bassin versant, la distance à la source, la largeur moyenne en eau à la station, la pente, la profondeur moyenne de la station, l'altitude, les températures moyennes interannuelles de l'air en janvier et juillet, et l'unité hydrographique.

À partir de ces variables, le peuplement théorique optimal de la station est calculé, puis comparé au peuplement échantillonné. L'IPR a une valeur de 0 quand le peuplement observé est en tout point conforme au peuplement attendu. Plus cette valeur augmente, et plus l'écart au peuplement de référence grandit.

Il faut ensuite considérer d'autres éléments complémentaires pour affiner le diagnostic.

L'utilisateur peut, par exemple, examiner utilement les probabilités de présence théorique des différentes espèces et les confronter avec la liste des espèces capturées. Cette analyse peut en effet apporter des éléments de diagnostic complémentaires.

Une station ayant obtenu un mauvais score à l'IPR, avec une probabilité de présence de truites proche de 1 (donc très forte), peut être prise comme exemple. Si aucune truite n'a été pêchée, cela conforte le diagnostic selon lequel cette rivière est bien fortement dégradée.

L'IPR a fait l'objet d'un ajustement à partir de la mise en place d'un nouveau jeu de sites de référence peu ou pas perturbés, la prise en compte de nouvelles métriques et de leur sensibilité aux pressions (qualité de l'eau, pressions hydrologiques, morphologiques, connectivité...).

Tableau 48 Caractéristiques d'application de l'IPR

Méthodes	Indice poissons rivière
Domaines d'application	Cours d'eau de France métropolitaine
Limites	Il n'est pas valable pour : les exutoires de plans d'eau naturel, les sources issues de résurgences, les secteurs soumis à l'action des marées et les réseaux drainants des marais ; il doit être interprété avec précaution dans les cours d'eau les plus grands, ainsi que dans ceux naturellement pauvres en espèces (1 à 3), et si une trop grande partie des poissons et/ou des espèces capturés n'interviennent pas dans le calcul de l'indice, une autorisation de capture est nécessaire.
Compétences requises	Celles nécessaires pour une pêche électrique. Bonnes connaissances en ichtyologie pour interpréter les résultats.
Coûts	+++

BIBLIOGRAPHIE

BELLIARD J., ROSET N. - *L'indice Poissons Rivière (IPR) - Notice de présentation et d'utilisation.* - CSP DG, CSP DR5, 2006.

KANEL B., GOGGEL W., WEBER C. - *Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Macrophytes : Instructions pour le prélèvement d'échantillons.* - Office Fédéral de l'Environnement de Suisse, 2009.

MOORE J.A. - *Charophytes of Great Britain and Ireland.* - London : B.S.B.I. Handbook, 1986 - 5.

OBERDORFF T. et al. - *A probabilistic model characterizing riverine fish communities of french rivers : a framework for environmental assessment.* - *Freshwater Biology*, 2001 - 46, p. 399-415.

OBERDORFF T. et al. - *Development and validation of a fish-based index (FBI) for the assessment of rivers "health" in France.* - *Freshwater Biology*, 2002 - 47, p. 1720-1735.

OBERDORFF T. et al. - *Adaptation et validation d'un indice poissons (FBI) pour l'évaluation de la qualité biologique des cours d'eau français.* - *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 2002 - 365/366, p. 405-433.

PONT B., FATON J.M., PISSAVIN S. - *Protocole de suivi à long terme des peuplements de macrophytes aquatiques et d'odonates comme descripteurs de fonctionnement des hydrosystèmes.* - Réserves naturelles de France, 1999.

RODUSKY A.J. et al. - *A comparison of three methods to collect submerged aquatic vegetation in a shallow lake.* - *Environmental Monitoring and Assessment*, 2005 - 110, p. 87-97.

Textes normatifs

NF T90-344 (2004-05-01) - *Qualité de l'eau - Détermination de l'Indice Poissons Rivière (IPR).*

XP T90-383 (2008-05-01) - *Qualité de l'eau - Échantillonnage des poissons à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons en lien avec la qualité des cours d'eau.*

NF EN 14011 (2003-07-01) - *Qualité de l'eau - Échantillonnage des poissons à l'électricité.*

NF EN 14962 (2006-09-01) - *Qualité de l'eau - Guide sur le domaine d'application et la sélection des méthodes d'échantillonnage de poissons.*





36

FICHE 36

Indice de biodiversité
des étangs et des mares (IBEM)



Charte Environnement des industries de carrières

INDICE DE BIODIVERSITÉ DES ÉTANGS ET DES MARES (IBEM)

GÉNÉRALITÉS

L'IBEM, Indice de biodiversité des étangs et des mares, élaboré en Suisse par OERTLI *et al.* (2005, 2008), est utilisé pour évaluer la biodiversité* des petites pièces d'eau (mares, étangs, petits lacs).

Il répond aux exigences de la directive cadre européenne sur l'Eau. Au vu de l'intérêt de structures telles que le réseau des Parcs naturels régionaux, le Pôle-relais mares et mouillères et l'European Pond Conservation Network, d'autres applications pratiques devraient prochainement voir le jour, notamment en France (OERTLI, 2008), sous réserve de la mise en place d'un nouveau référentiel, l'actuel étant limité à la Suisse. Étant donné le caractère très récent et restreint géographiquement de cette méthode, nous nous limiterons à en dresser les grandes lignes.

L'évaluation de la biodiversité repose sur l'échantillonnage standardisé de 5 groupes biologiques complémentaires du point de vue écologique : la végétation aquatique, les gastéropodes* aquatiques, les coléoptères* aquatiques, les odonates* adultes et les amphibiens. Les

amphibiens sont déterminés au niveau de l'espèce, les quatre autres groupes au niveau du genre.

L'IBEM permet l'évaluation biologique de la surface en eau, la quantification de la dégradation du milieu, l'évaluation de la richesse taxonomique, la détection des taxons* dominants, représentatifs du fonctionnement du milieu, la comparaison de différents objets dans l'espace, la comparaison du même objet dans le temps (monitoring).

Il ne permet pas l'évaluation biologique du milieu terrestre et palustre, ni l'identification de la cause de la dégradation, ou l'évaluation du nombre d'espèces rares, en danger ou patrimoniales (sauf pour les amphibiens), pas plus qu'il ne permet l'inventaire exhaustif des espèces (sauf pour les amphibiens) ou la définition de mesures de gestion pour les espèces rares.

MÉTHODES

La végétation aquatique est échantillonnée sur des placettes (« quadrats ») de 50 x 50 cm, réparties sur des transects parallèles et équidistants sur toute la surface du plan d'eau où la profondeur est inférieure à 3 m. Le nombre de quadrats

est déterminé en fonction de la superficie de l'étang. La présence/absence de genres de plantes figurant sur une liste est alors notée. Cette manipulation a lieu une seule fois, en juillet.

Les Dytiscidae représentent la famille la plus importante parmi les coléoptères aquatiques.



O. Delzons

Une épuisette standardisée (ouverture rectangulaire de 10 cm sur 14 cm, vide de mailles inférieures ou égales à 0,5 mm, manche de 1,80 m) est utilisée pour prélever les invertébrés lors d'une seule campagne, elle aussi en juillet. Le nombre de prélèvements dépend de la surface du plan d'eau. Les principaux habitats sont échantillonnés. Seuls les gastéropodes* [fiche 9] et les coléoptères* sont pris en compte, triés sur le terrain et déterminés ensuite au niveau du genre. Là aussi, on note les présences/absences des genres figurant sur une liste de référence.

Les odonates [fiche 14] adultes sont échantillonnés en deux temps, une première fois en mai, et une seconde durant l'été. Des zones de 30 x 10 m, correspondant au tiers du périmètre total du plan d'eau, sont échantillonnées par chasse à vue durant

10 minutes. Les taxons sont déterminés au niveau du genre.

Pour les amphibiens [fiches 25 et 26], quatre campagnes d'échantillonnage sont à réaliser, à savoir une visite lors de chacun des mois de mars, avril, mai et juin. La première visite doit se dérouler de nuit, les autres visites se déroulent en début de nuit. Toutes les espèces présentes sont relevées en une heure, toutes les méthodes d'échantillonnage étant admises.

À partir de ces résultats, une des cinq classes de qualité est attribuée à chaque groupe, en accord avec la directive européenne sur l'Eau (DCE* 2000) : mauvais (0 à 0,2) ; médiocre (> 0,2 à 0,4) ; moyen (> 0,4 à 0,6) ; bon (> 0,6 à 0,8) et très bon (> 0,8). La moyenne des cinq valeurs indiquera la classe de qualité globale du plan d'eau.

Tableau 49 Caractéristiques d'application de l'IBEM

Méthodes	Indice de biodiversité des étangs et des mares
Domaines d'application	Petits plans d'eau (mare, étang, petit lac) d'une surface comprise entre 50 et 60 000 m ² et d'une profondeur moyenne comprise entre 30 et 900 cm. La méthode n'est applicable qu'en Suisse (et dans la zone frontalière des pays voisins), dans les étages alpidunaux collinéens et montagnards.
Limites	L'échantillonnage effectué dans le cadre de la mise en œuvre de l'IBEM permet de dresser une liste d'espèces « exhaustive » concernant les amphibiens. En revanche, ce n'est pas le cas pour les 4 autres groupes, étant donné que la détermination est effectuée au genre. L'IBEM ne remplace donc pas les travaux d'inventaires destinés à déceler la présence des espèces rares.
Compétences requises	Technicien hydrologue
Coûts	Pour l'évaluation d'un étang de 5000 m ² , compter environ 50 h de travail

BIBLIOGRAPHIE

OERTLI B. et al. - *Macroinvertebrate assemblages in 25 high alpine ponds of the Swiss National Park (Cirque of Macun) and relation to environmental variables*. - *Hydrobiologia*, 2008 - 597, p. 29-41.

OERTLI B. et al. - *Prédiction du potentiel de diversité biologique des étangs du Canton de Genève. Détection des hot-spots*. - Laboratoire d'Écologie et de biologie aquatique de l'Université de Genève, 2002.

OERTLI B. et al. - *A standardised method for sampling and assessing the biodiversity in ponds*. - *Aquatic conservation*, 2005 - 15(6), p. 665-679.

L'ensemble de la méthode est téléchargeable gratuitement sur :
<http://campus.hesge.ch/ibem/presentation.asp>

Directive cadre européenne sur l'Eau. Directive 2000/60/EC du Parlement européen, Journal officiel de la communauté européenne L 327.



37

FICHE 37

Indice mollusques (IMOL)



M. Parisot-Laprun

INDICE MOLLUSQUES (IMOL)

GÉNÉRALITÉS

Les mollusques gastéropodes* (limnées) et bivalves* (pisidies) [fiche 9] sont potentiellement capables de coloniser la zone profonde des systèmes lacustres.

Lorsque le milieu se dégrade (installation puis développement de conditions hypoxiques* au niveau de l'hypolimnion* et accumulation de matière organique dans ses sédiments profonds), une diminution de plus en plus importante de l'amplitude bathymétrique des espèces est observée, ainsi qu'une disparition progressive ordonnée, de la zone profonde

à la zone littorale, des gastéropodes puis des bivalves (MOUTHON, 1993).

Le calcul de l'IMOL, basé sur les peuplements en mollusques des lacs, permet principalement d'avoir une image des teneurs en oxygène dissous de la masse d'eau et des teneurs en matière organique du sédiment.

MÉTHODES

L'échantillonnage est réalisé au cours d'une seule campagne pendant la période estivale durant laquelle le développement des mollusques est optimal.

En raison du caractère épibenthique* des gastéropodes et de la prédominance des pisidies dans les 5 ou 10 premiers centimètres du sédiment, les prélèvements sont effectués à l'aide d'une benne Friedinger (surface d'environ 350 cm²), dans la strate superficielle du sédiment.

Les mollusques sont prélevés à 3 profondeurs dans 5 échantillons :

- dans les fonds du lac, en excluant le point le plus profond (Z max) où l'aggravation du déficit en oxygène

dissous et l'installation de conditions hypoxiques sont fréquemment liées à la morphologie particulière de la cuvette. Afin d'éviter ces phénomènes peu représentatifs, le prélèvement est effectué à la profondeur $Z_1 = 9/10 Z_{max}$ (voir les modalités d'utilisation d'une drague) ;

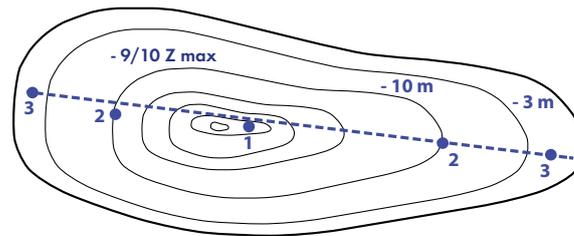
- dans la zone sublittorale, au voisinage de la thermocline d'été $Z_2 = -10$ m ;
- dans la zone littorale à $Z_3 = -3$ m.

À chaque profondeur, l'échantillon est constitué de 3 prélèvements réalisés à la benne.

Figure 59 Plan d'échantillonnage théorique en lac

Les mollusques sont triés puis déterminés, en général au niveau du genre.

L'indice IMOL est obtenu à partir de la figure 59.

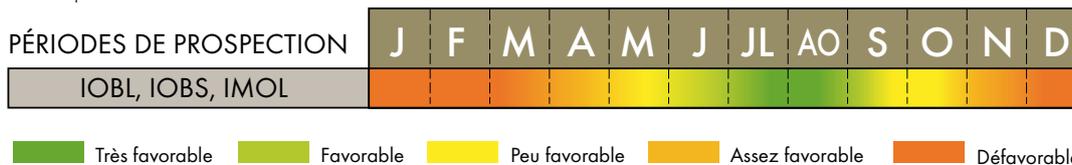
**Tableau 50** Grille de calcul de l'IMOL, d'après LAFONT, 1993

Niveau d'échantillonnage	Repères malacologiques	Indices
Z1 = 9/10 Z max	Gastéropodes et bivalves présents	8
	Gastéropodes absents, bivalves présents	7
	Absence de mollusques en Z1	
Z2 = - 10 m	Deux genres ou plus de deux genres de gastéropodes présents	6
	Un seul genre de gastéropodes présent	5
	Gastéropodes absents, pisidies présentes avec plus d'un individu par benne	4
	Absence de mollusques en Z2	
Z3 = - 3 m	Deux genres ou plus de gastéropodes présents	3
	Un seul genre de gastéropodes présent	2
	Gastéropodes absents, pisidies présentes avec plus d'un individu par benne	1
	Absence de mollusques	0

De manière générale, les milieux qui ne présentent pas de déficit chronique de leur hypolimnion en oxygène dissous sont crédités des indices les plus élevés, alors que les systèmes où règnent

des conditions hypoxiques sévères, liées dans certains cas à une forte accumulation de matière organique ou à des apports d'origine anthropique, présentent les plus faibles valeurs indiciaires.

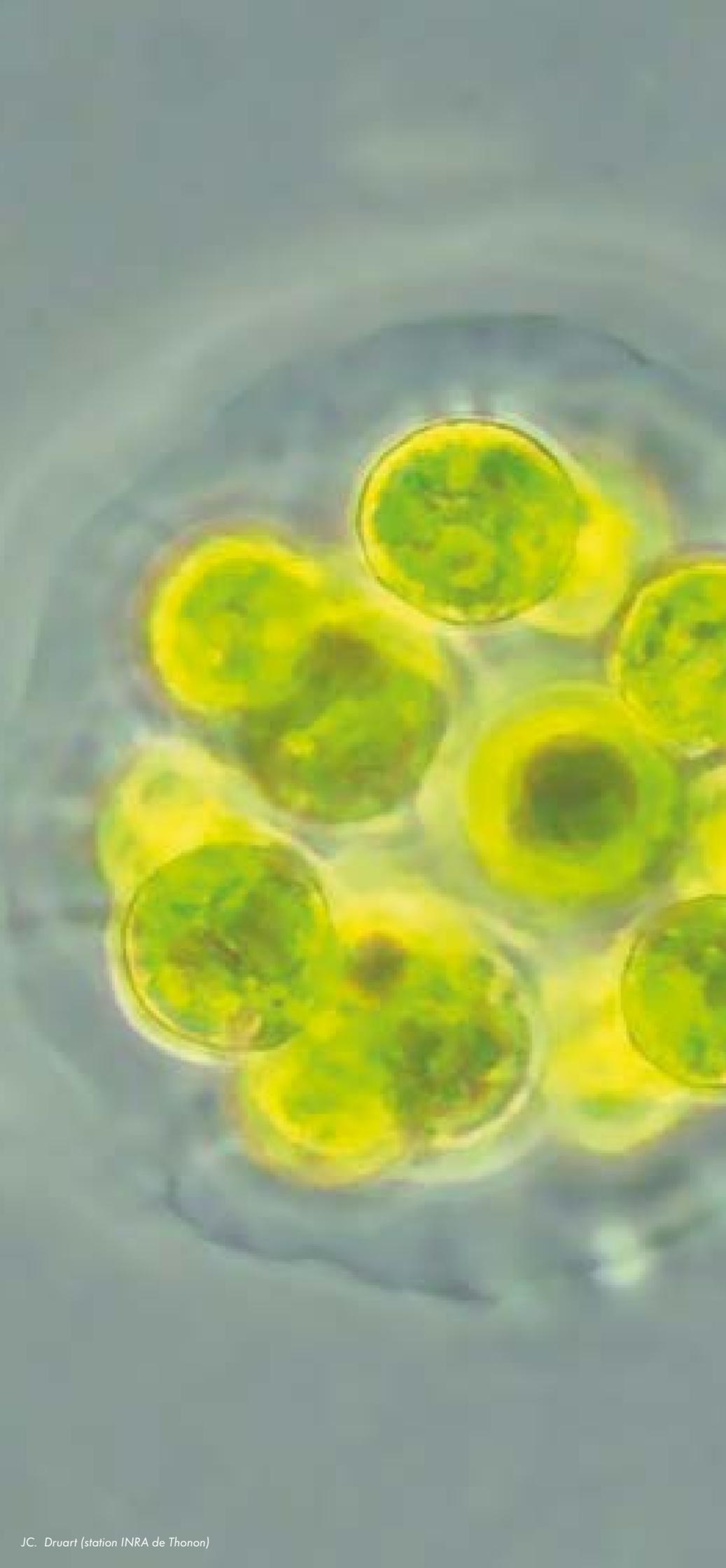
Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude des mollusques.

**Tableau 51** Caractéristiques d'application de l'IMOL

Méthodes	Indice mollusques
Domaines d'application	Lacs médio-européens de petites dimensions ($S < 500$ ha), de profondeur maximale (Z_{max}) supérieure à 10 m, présentant une stratification thermique bien marquée, de basse et de moyenne altitude
Limites	Certaines conditions écologiques naturelles comme l'ultraoligotrophie, l'absence de zones littorale et sublittorale bien différenciées (certains lacs de cratère et de retenues) ne permettant pas le développement des mollusques peuvent limiter l'utilisation de l'IMOL
Compétences requises	Échantillonnage en plan d'eau Compétences en malacologie, systématique des mollusques et limnologie
Coûts	Une à deux journées de prélèvements, de tri et d'interprétation des résultats ; variable selon le plan d'eau

BIBLIOGRAPHIE

MOUTHON J. - *Un indice biologique lacustre basé sur l'examen des peuplements de mollusques.* - Bull. Fr. Pêche Piscic., 1993 - 331, p. 397-406.



38

FICHE 38

Indice phytoplancton
lacustre (IPLAC)



J.C. Druart (station INRA de Thonon)

INDICE PHYTOPLANCTON LACUSTRE (IPLAC)

GÉNÉRALITÉS

Le phytoplancton, ou plancton végétal, désigne tous les microorganismes photosynthétiques peu mobiles qui vivent dans les eaux marines, saumâtres ou douces.

Il est constitué de milliers d'espèces qui se répartissent en plusieurs groupes :

- les cyanobactéries ou algues bleues,
- les diatomées,
- les coccolithes,
- les chrysophycées et les chlorophycées,
- les dinoflagellés.

Comme tous les végétaux, les organismes du phytoplancton dépendent de la lumière et des minéraux nutritifs dans le milieu. La richesse en phytoplancton dépend surtout des minéraux dont l'origine est d'abord tellurique.

Il a été particulièrement bien étudié dans les plans d'eau, et notamment pour son rôle dans les cycles du phosphore et d'autres éléments comme l'azote et la silice, et dans les processus d'eutrophisation artificielle.

Des proliférations (blooms), ou des anomalies dans le déroulement des successions saisonnières des groupes d'espèces, sont parfois la conséquence et en même temps le signe révélateur d'une pollution organique.

Le phytoplancton est un des éléments biologiques identifiés par la directive cadre européenne sur l'Eau (DCE) pour participer à la définition de l'état écologique des plans d'eau. Les travaux sont actuellement menés pour définir un protocole standardisé d'échantillonnage et d'observation microscopique en laboratoire du phytoplancton. Un indice utilisant ces communautés végétales dans l'évaluation d'état écologique des plans d'eau, l'Indice phytoplancton lacustre, ou IPLAC (LAPLACE-TREYTURE *et al.*, 2009), a été mis au point. Cet indice pourra s'appliquer à tous les types de plans d'eau de la métropole, d'origine naturelle ou artificielle.

Dans les cours d'eau, la prise en compte du phytoplancton est limitée aux grands hydrosystèmes (fleuves), dans lesquels ce compartiment végétal peut jouer un rôle important dans le fonctionnement du système. Toutefois, il a été très peu étudié jusqu'à présent, et les méthodes requises pour son évaluation ne sont pas encore standardisées. Elles seront probablement dérivées de celles actuellement en cours de mise au point pour les lacs (DELMAS *et al.*, 2008).



MÉTHODES

Le choix des périodes de prélèvement est d'une importance cruciale dans l'analyse des communautés phytoplanctoniques. En effet, au cours de l'année, plusieurs communautés se succèdent dans le plan d'eau. Ces successions se font en fonction de facteurs physiques (température, turbidité), de la disponibilité en nutriments et en fonction du broutage, par le zooplancton et les poissons notamment (voir figure 61 page suivante). LAPLACE-TREYTURE *et al.* (2009) préconisent donc quatre campagnes, avec au moins trois semaines d'intervalle entre chacune d'elles :

- la première entre mi-février et fin mars, à la fin de l'hiver, correspondant à la période de brassage et à la toute première phase de croissance du phytoplancton (c'est parfois la seule dans les milieux très oligotrophes) ;
- la deuxième entre mi-mai et fin juin, durant la mise en place de la thermocline (si une thermocline est présente sur le plan d'eau considéré), correspondant à la phase printanière de croissance du phytoplancton. Il faudra éviter autant que possible la phase dite « des eaux claires » qui est la période de transition entre les communautés printanière et estivale ;
- la troisième en juillet ou en août, en plein été, quand la thermocline est bien installée, correspondant à la deuxième phase de croissance du phytoplancton ;
- et la quatrième entre septembre et mi-octobre, en fin de stratification estivale, avant que la température ne baisse et que la stratification ne disparaisse. À cette période, l'épilimnion a une épaisseur maximale.

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude du phytoplancton.

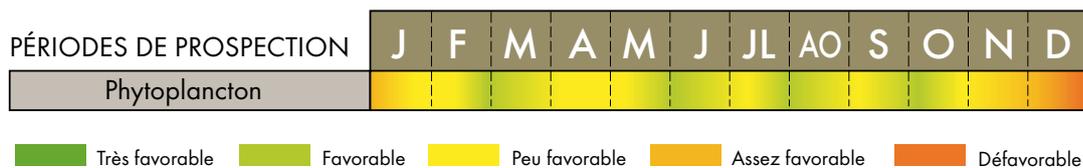
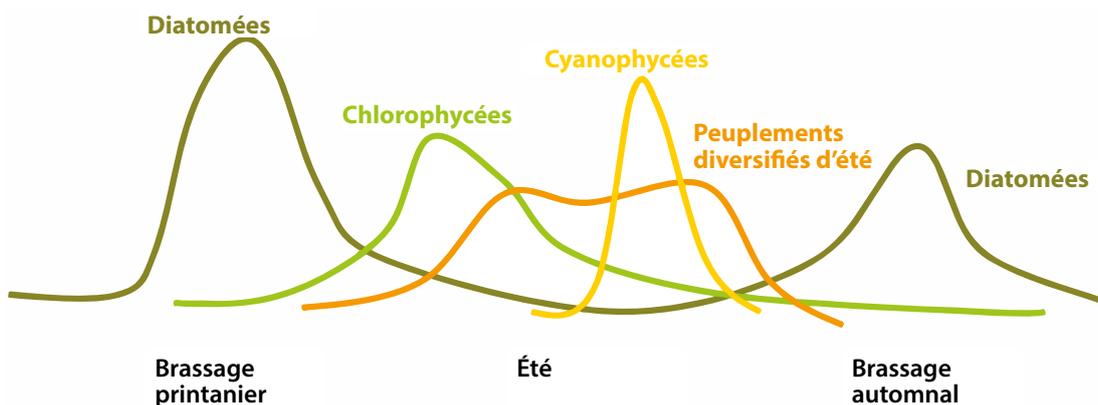


Figure 59

Succession phytoplanctonique saisonnière d'un lac tempéré d'après STEWART & WETZEL (1986)



Définitions

La zone euphotique est la profondeur à laquelle pénètre encore 1 % de la lumière solaire. Elle est connue à partir de la profondeur de disparition d'un disque de Secchi (EN ISO 7027, 2000). Cette zone euphotique est égale à 2,5 fois la profondeur de la disparition du disque de Secchi.

La thermocline est une couche de transition thermique rapide entre les eaux superficielles chauffées par le soleil et les eaux profondes plus froides.

L'eutrophisation (au sens de dystrophisation) est le terme désignant à l'origine la richesse en éléments nutritifs d'une pièce d'eau, et aujourd'hui communément utilisé pour désigner une dégradation par excès de nutriments (phosphore et azote en particulier) entraînant un excès de production algale, qui a pour principales conséquences une diminution de la transparence et de l'oxygène en profondeur, ce qui provoque une chute de la biodiversité.

Un milieu aquatique pauvre en éléments nutritifs est dit oligotrophe ; dans un cas intermédiaire, le milieu est qualifié de mésotrophe ; s'il est riche, il est eutrophe.

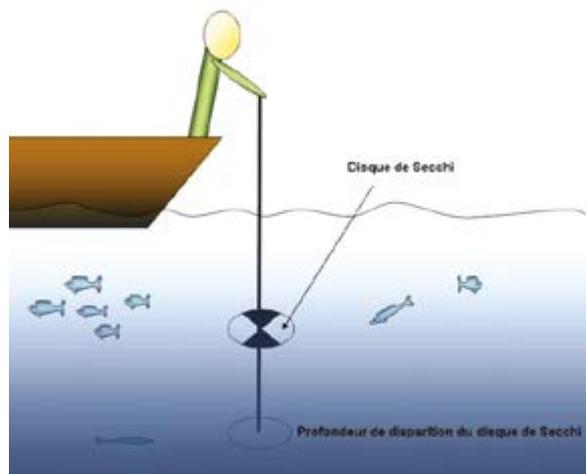


Figure 60

Estimation de la profondeur de la zone euphotique à l'aide d'un disque Secchi

Les prélèvements sont faits à la verticale du point le plus profond du lac.

En plus du phytoplancton, la transparence est relevée à l'aide d'un disque de Secchi. De plus, les profils verticaux du pH, du taux d'oxygène dissous et de la conductivité, ainsi que de la température et de la chlorophylle « a » sont établies. Ces mesures sont faites *in situ* à l'aide de sondes électroniques, ou au laboratoire, avec des prélèvements effectués dans la colonne d'eau.

L'échantillon de phytoplancton est prélevé lors de chaque campagne dans la zone euphotique, correspondant à la tranche d'eau comprise entre la surface et 2,5 fois la profondeur de disparition du disque de Secchi.

Il est alors pris sous la forme d'un prélèvement intégré sur cette profondeur, à l'aide d'une bouteille intégratrice ou d'un autre système, permettant de prélever un volume d'eau connu à une profondeur prédéterminée, sans contamination par de l'eau provenant d'une profondeur différente.

Des prélèvements d'eau supplémentaires seront destinés aux analyses de laboratoire décrites dans le paragraphe précédent.

L'échantillon est examiné en laboratoire à l'aide d'un microscope inversé, les espèces sont ainsi identifiées puis comptées. Les résultats sont exprimés en abondance (nombre de cellules par ml et/ou en biovolume exprimé en mm^3/litre).

Différents indicateurs peuvent être pris en compte pour l'interprétation, comme la transparence de l'eau, les pigments chlorophylliens, l'azote et le phosphore total, la consommation en oxygène, le phosphore et l'azote du sédiment.

Le niveau trophique du lac pourra en être déduit, ainsi que l'évolution de cette trophie dans le temps, et l'éventuel « vieillissement » artificiel du plan d'eau ou « eutrophisation ».

Tableau 52 Caractéristiques d'application de l'étude du phytoplancton

Méthodes	Phytoplancton des plans d'eau
Domaines d'application	Plans d'eau intérieurs
Limites	Lacs de plus de 50 ha
Compétences requises	Prélèvements en lacs Analyses physico-chimiques Biologie et écologie du phytoplancton
Coûts	4 jours (ou demi-journées) de prélèvements et autant de travail de laboratoire

BIBLIOGRAPHIE

BARBE J. et al. - *Protocole actualisé de la diagnose rapide des plans d'eau*. - Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse - Cemagref, 2003.

DELMAS F. et al. - *Bio-indicateurs végétaux des cours d'eau : état d'avancement des méthodes d'évaluation de l'état écologique. Les approches hydrobiologiques pour la DCE et le continuum eaux douces - eaux littorales*. Résumé des interventions du séminaire Aquaref 3-4 juin 2008. - Antony : 2008.

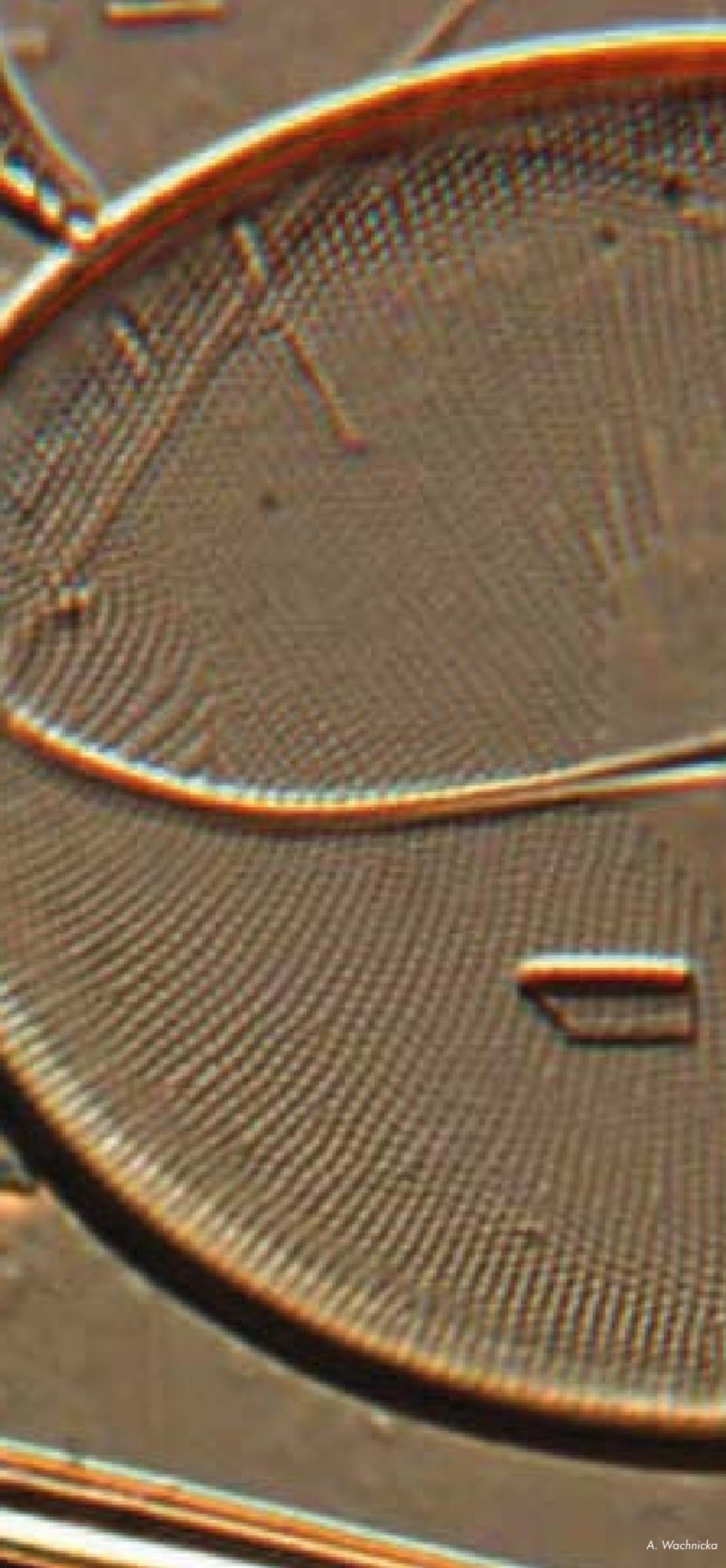
DUTARTRE A., BERTRIN V., LAPLACE-TREYTURE C. - *Les éléments végétaux en lacs : phytoplancton, macrophytes. Les approches hydrobiologiques pour la DCE et le continuum eaux douces - eaux littorales*. Résumé des interventions du séminaire Aquaref 3-4 juin 2008 - Antony : 2008.

LAPLACE-TREYTURE C. et al. - *Protocole standardisé d'échantillonnage, de conservation, d'observation et de dénombrement du phytoplancton en plan d'eau pour la mise en œuvre de la DCE*. - INRA - Cemagref, 2009 - Version 3-3-1.

LAPLACE-TREYTURE C. et al. - *Protocole standardisé d'échantillonnage, de conservation, d'observation et de dénombrement du phytoplancton en plan d'eau*. - INRA-Cemagref, 2008 - Version 3-2.

STEWART A.J., WETZEL R.G. - *Cryptophytes and other microflagellates as couplers in planktonic community dynamics*. - Stuttgart : Archiv für Hydrobiologie, 1986 - 106, p. 1-19.

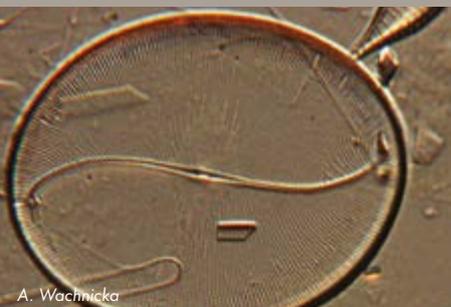
NF EN 15024 (2006) - *Qualité de l'eau - Norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée (méthode Utermöhl)*.



39

FICHE 39

Indice biologique
diatomées (IBD)



INDICE BIOLOGIQUE DIATOMÉES (IBD)

GÉNÉRALITÉS

Les diatomées* sont des algues brunes, microscopiques et unicellulaires. Elles appartiennent à l'embranchement des chromophytes et forment la classe des diatomophycées, dont les parois cellulaires sont doublées d'un squelette externe siliceux appelé frustule. Les diatomées constituent l'un des groupes dominants du phytoplancton [fiche 38].

Elles sont prédisposées à coloniser tous les milieux plus ou moins humides car leurs besoins en lumière et en humidité sont variables selon les espèces. Elles vivent librement dans la masse d'eau (espèces planctoniques) ou bien fixées sur un substrat (espèces périphytiques). Le substrat peut être naturel (galets, végétaux) ou artificiel (pilier de pont, débris de faïence). Les diatomées sont naturellement sensibles à la qualité physico-chimique de l'eau et permettent d'émettre un diagnostic concernant le degré d'eutrophication du milieu et la charge en matière organique. Elles peuvent aussi indiquer un degré de salinité et d'acidité. De plus, la structure de leurs peuplements est déterminée par des caractéristiques chimiques des eaux, indépendamment des caractéristiques morphodynamiques du cours d'eau. Ce sont donc de bons indicateurs biologiques.

Plusieurs indices utilisant les diatomées sont employés, notamment l'Indice de Polluo-sensibilité Spécifique (IPS) (COSTE in CEMAGREF, 1982), prenant en compte toutes les espèces d'un relevé, et donnant donc une image générale du cours d'eau (physico-chimie, nutriments), mais nécessitant un très long travail de laboratoire, et donc peu utilisé en routine. L'Indice biologique diatomées (IBD), indice d'eutrophication au sens large, avec une approche volontairement simplifiée de la taxonomie, est d'application plus facile.

L'IBD est basé sur des données quantitatives (effectifs) qui permettent une estimation plus fine et plus sensible que les méthodes strictement qualitatives et il se calcule uniquement à partir d'espèces périphytiques. Il permet d'évaluer la qualité ponctuelle d'une station, de suivre l'évolution temporelle de la qualité biologique d'une station, de suivre l'évolution spatiale de la qualité biologique d'un cours d'eau ou encore d'évaluer les conséquences d'une perturbation sur le milieu.

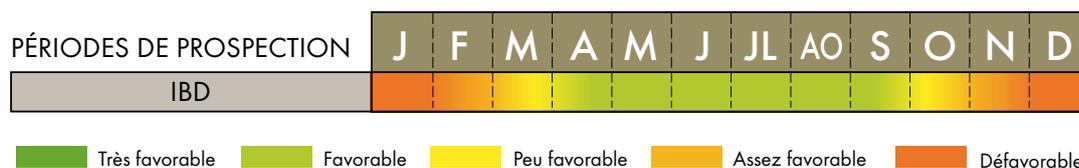
MÉTHODES

À l'usage, et après de nombreuses campagnes, il est apparu aux auteurs de l'IBD que les prélèvements réalisés entre mai et octobre offraient la meilleure adéquation avec les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, du fait que les communautés hivernales sont très homogènes et peu diversifiées sous nos climats. Le prélèvement se fait généralement par grattage sur un substrat naturel solide de type rocheux, selon un protocole

d'échantillonnage tenant compte des conditions hydrologiques, de la nature et de la taille des supports.

Les diatomées sont ensuite préparées pour éliminer leur contenu cellulaire et ne conserver que les squelettes, permettant une observation plus aisée. Les diatomées nettoyées font l'objet d'une préparation permanente entre lame et lamelle.

Le calendrier ci-dessous précise les périodes de prospection les plus favorables pour l'étude des diatomées.



400 individus sont alors comptés, seuls étant pris en compte les groupes d'espèces (taxons*) intervenant dans le calcul de l'indice. Le comptage se fait au microscope, par balayage de la préparation au grossissement 1000 (objectif 100) sous huile à immersion.

Le calcul de l'IBD repose sur les étapes suivantes :

- calcul en ‰ de l'abondance A de chaque taxon apparié (et des taxons associés le cas échéant) ;
- élimination des taxons appariés présentant une abondance inférieure aux valeurs seuils indiquées par la norme. Tous les taxons appariés présentant une abondance inférieure à 7,5 ‰ (soit 3 diatomées sur 400) sont systématiquement éliminés. Il faut en effet compter plus de 3 individus d'un taxon pour que sa présence ne puisse pas être imputée au hasard, à la dérive* ou à une éventuelle contamination de l'échantillon ;

- calcul de la probabilité de présence d'un taxon apparié fictif représentatif du peuplement étudié pour chacune des classes de qualité de l'eau selon la formule suivante :

$$F(i) = \frac{A_x \cdot P_x(i) \cdot V_x}{A_x \cdot V_x}$$

A_x : abondance du taxon apparié X exprimé en ‰,

$P_x(i)$: probabilité de présence du taxon apparié X pour la classe de qualité i,

V_x : valeur écologique du taxon apparié X,

N : nombre de taxons appariés retenus après application du seuil de présence ;

- calcul de B qui correspond à la valeur de l'IBD sur 7 et constitue une valeur intermédiaire, selon la formule :

$$B = 1 \cdot F(1) + 2 \cdot F(2) + 3 \cdot F(3) + 4 \cdot F(4) + 5 \cdot F(5) + 6 \cdot F(6) + 7 \cdot F(7)$$

- calcul de l'IBD sur 20 (celui-ci ne s'exprime qu'avec une seule décimale) :

$$IBD / 20 = 4.75 \cdot IBD - 8.5$$

Tableau 53 Classes de qualité de l'IBD

IBD > 17	Qualité excellente
16 > IBD > 13	Bonne
12 > IBD > 9	Passable
8 > IBD > 5	Médiocre
IBD < 4	Mauvaise

L'IBD (LENOIR & COSTE, 1996) normalisé en 2000 (NFT 90-354) a été modifié en décembre 2007 [(Qualité de l'eau - Détermination de l'Indice biologique diatomées (IBD)- NFT 90-354)].

Les principales modifications ont porté sur la séparation de taxons* appariés, l'amélioration des profils écologiques de certains taxons, l'ajout de taxons exotiques ou invasifs, et la prise en compte de malformations. Le logiciel OMNIDIA permet, entre autres, le calcul de cet indice.

Tableau 54 Caractéristiques d'application de l'Indice biologique diatomées

Méthodes	Indice biologique diatomées (IBD)
Domaines d'application	Tous les cours d'eau
Limites	Zones estuariennes
Compétences requises	Échantillonnage (technicien) Techniques de laboratoire Détermination des diatomées à l'espèce
Coûts	1 à 2 journées selon les sites

BIBLIOGRAPHIE

AFNOR - Norme Française NFT 90-354. Détermination de l'Indice Biologique Diatomées (IBD). - Paris : Agence française de normalisation, 2000 et 2007.

CEMAGREF - *Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées NF T90-354.* - 1982.

LENOIR A., COSTE M. - *Development of a practical diatom index of overall water quality applicable to the French national water board network. Use of Algae for monitoring rivers II.* - Innsbruck : Studia Student GmbH, 1996.

Textes normatifs

NF EN 13496 (2003) - *Qualité de l'eau - Guide pour l'échantillonnage en routine et le prétraitement des diatomées benthiques de rivières.*

NF EN 14407 (2004) - *Qualité de l'eau - Guide pour l'identification et le dénombrement des échantillons de diatomées benthiques de rivières et leur interprétation.*



40

FICHE 40

Indice oligochètes de
bio-indication lacustre (IOBL)



O. Delzons

INDICE OLIGOCHÈTES DE BIO-INDICATION LACUSTRE (IOBL)

GÉNÉRALITÉS

Les oligochètes sont des vers appartenant au sous-embouchement des Annélides. L'indice IOBL (Indice oligochètes de bio-indication lacustre) décrit les potentialités du milieu à assimiler et à recycler les substances nutritives.

Il est corrélé positivement avec les carbonates du sédiment et la minéralisation des eaux, et négativement avec les teneurs en matières organiques. Les oligochètes intègrent et décrivent cette « capacité métabolique » globale d'un lac.

Les oligochètes intègrent également l'impact des rejets anthropiques, pour autant que ceux-ci perturbent la capacité métabolique des plans d'eau.

Le pourcentage d'espèces oxyphiles*, ou sensibles à des apports polluants, complète le diagnostic donné par l'indice.

MÉTHODES

Trois points du plan d'eau sont échantillonnés, à - 3 m, - 10 m et 9/10^e de la profondeur maximale (Z max). Une seule campagne a lieu, en été. Les prélèvements sont faits à la benne.

Lorsque le type de benne le permet, il est intéressant, pour des raisons pratiques, de ne conserver que les 8 à 10 premiers centimètres de sédiment superficiel (possibilité de stratifier le prélèvement de sédiments avec la benne Ekman-Lenz). En effet, les oligochètes se trouvent essentiellement dans les 10 premiers centimètres du sédiment.

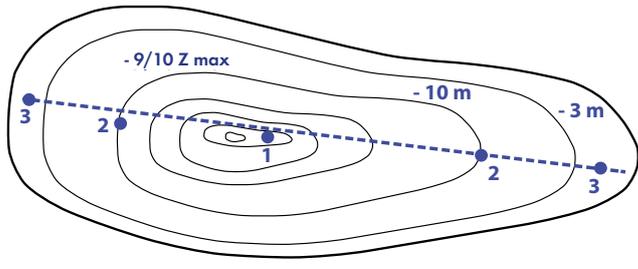
L'utilisation d'une benne nécessite certaines précautions, notamment pour assurer une descente et une remontée lentes et régulières de l'engin. Ces manipulations peuvent être facilitées par l'emploi

d'un treuil. Ce dernier évite d'accentuer la vague de front au contact du sédiment en place et permet de minimiser les pertes de vase qui proviendraient d'une remontée trop saccadée. Il est en outre important de sortir la benne de l'eau en la tenant bien verticalement, pour ne pas perturber la couche de surface des sédiments récoltés.

Dans le cas des prélèvements à la benne se pose toujours le problème de la récolte d'un excès de sédiment, chaque relevé ayant un volume supérieur ou égal à 2 ou 3 litres. La réduction du volume de sédiment prélevé est donc nécessaire et s'effectue sur le terrain par une filtration sur un tamis inox de 0,315 mm de vide de maille.

Figure 61

Plan d'échantillonnage schématisique d'un IOBL (trois points sont échantillonnés à trois profondeurs différentes)



Les oligochètes sont triés puis déterminés au niveau de l'espèce en laboratoire.

L'indice IOBL est calculé selon :

$$\text{IOBL} = \frac{\text{nombre d'espèces} + 3 \log_{10}(\text{effectifs} + 1)}{0.1 \text{ m}^2}$$

Trois types de plans d'eau sont définis en fonction des valeurs indicielles :

- les plans d'eau à fort potentiel métabolique ;
- les plans d'eau au potentiel métabolique moyen ;
- les plans d'eau au potentiel métabolique faible.

Tableau 55

Proposition de classification des plans d'eau, selon les valeurs de l'indice IOBL (d'après LAFONT, 1989)

Indice IOBL	Type de plan d'eau
≥ 10	Type 1 à fort potentiel métabolique
$6,1 \leq \text{IOBL} \leq 9,9$	Type 2 au potentiel métabolique moyen
≤ 6	Type 3 au potentiel métabolique faible

Le calendrier ci-dessous précise les périodes les plus favorables pour la réalisation de l'indice IOBL (Indice oligochètes de bio-indication lacustre).

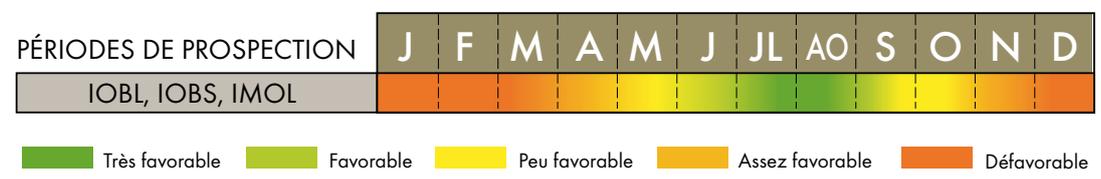


Tableau 56

Caractéristiques d'application de l'IOBL

Méthodes	Indice oligochètes de bio-indication lacustre
Domaines d'application	Pollution organique et autres pollutions des lacs (plus de 10 m de profondeur)
Limites	Champs de renseignement couverts par l'étude
Compétences requises	Détermination à l'espèce des oligochètes
Coûts	Une demi-journée de terrain, et un à trois jours de tri, détermination et analyse des données.

BIBLIOGRAPHIE

LAFONT M. - *Contribution à la gestion des eaux continentales : utilisation des oligochètes comme descripteurs de l'état biologique et du degré de pollution des eaux et sédiments*. Thèse de doctorat d'État ès Sciences. - UCBL Lyon I, 1989.

LAFONT M., JUGET J., ROFES G. - *Un indice biologique lacustre basé sur l'examen des oligochètes*. - Rev. Sci. Eau, 1991 - 4(2), p. 253-268.

Texte normatif

NF T90-391 (2005) - *Qualité de l'eau, détermination de l'Indice Oligochètes de Bio-indication Lacustre (IOBL)*.



41

FICHE 41

Indice oligochètes de
bio-indication des sédiments (IOBS)



B. Frochet

INDICE OLIGOCHÈTES

DE BIO-INDICATION DES SÉDIMENTS (IOBS)

GÉNÉRALITÉS

Les oligochètes sont des vers appartenant au sous-embranchement des annélides. L'Indice oligochètes de bio-indication des sédiments (IOBS) décrit la qualité biologique des sédiments fins ou sableux permanents et stables, de cours d'eau ou canaux.

Il indique des tendances fortes sur l'incidence écologique des rejets polluants (charge organique et micropolluants organiques et métalliques), à partir du peuplement en oligochètes.

Il prend en compte des taxons* à développement strictement aquatique, en général peu mobiles, recensés dans toutes les eaux continentales et ne présentant ni

zonation ni distribution régionale dans les eaux courantes européennes.

L'IOBS peut aussi être utilisé comme indice de qualité biologique générale dans les milieux où prédominent les sédiments fins ou sableux (canaux, rivières canalisées...). Il peut donc être appliqué dans des milieux où d'autres méthodes sont inopérantes (IBGN par exemple).

MÉTHODES

La campagne d'échantillonnage doit être réalisée en régime permanent d'étiage ou au minimum 10 jours après un épisode de hautes eaux. Après un événement hydrologique stressant (crue ou assec total), il convient d'attendre deux mois avant d'effectuer les prélèvements, pour laisser le temps au milieu de se stabiliser.

Les prélèvements sont effectués en priorité dans le sédiment dominant sur une station donnée. En principe, un seul échantillon est réalisé par station. Cependant, si deux types différents de sédiments sont significativement présents sur une station donnée, il est possible d'effectuer deux

échantillons par station (un de vase, un de sable vaseux).

L'échantillonnage s'effectue de manière différente selon le milieu, en particulier selon la nature du sédiment et la hauteur d'eau. Les appareils disponibles dans le commerce (bennes, carottiers, filets échantillonneurs), et notamment ceux qui sont utilisés dans la norme IBGN (filet échantillonneur/haveneau, NF T 90-350), peuvent convenir pour prélever des oligochètes.

Toutefois, en cas d'utilisation de l'appareillage IBGN, il est impératif de munir Surber et haveneau d'un filet avec un vide

Tableau 57

Matériel à utiliser pour l'échantillonnage dans le cadre d'un IOBS, selon le type de substrat

Substrat	Sédiments fins			Sédiments sableux		
	Profondeur	< 1 m	Entre 1 et 2 m	> 2 m	< 1 m	> 1 m
Appareils de prélèvement		Carottier de 20 à 25 cm ² d'ouverture ou tube en Altuglas®	Haveneau ou bennes	Benne	Surber de 100 cm ² d'ouverture	Haveneau ou bennes

de maille maximal de 0,315 mm (LAFONT 2002).

Dans tous les cas, le prélèvement des 10 premiers centimètres de sédiments, où se tiennent la majorité des oligochètes, est privilégié.

Un échantillon sera formé de trois prélèvements minimums, pour une surface d'au moins 100 cm². Une station mesure entre 100 et 150 pas et l'intervalle entre les points de prélèvement doit être de 30 pas.

En laboratoire, les oligochètes sont extraits de l'échantillon par tamisage à 0,5 mm. Pour permettre leur identification sous microscope, un montage de 100 individus identifiables est effectué entre lame et lamelle, dans un milieu de montage constitué d'un mélange à parts égales de glycérine et d'acide lactique pur. Les individus sont positionnés latéralement sur la lame de manière à pouvoir distinguer facilement les soies dorsales et les organes génitaux. Les oligochètes colorés sont identifiés au niveau de l'espèce à l'aide d'un microscope à des grossissements de 10 à 600 fois. La densité en oligochètes pour 0,1 m² peut être

calculée à partir de la formule suivante :

$$D = \frac{N \times C \times 0,1}{c \times X}$$

ou

D : densité en oligochètes pour 0,1 m² ;

N : nombre d'oligochètes dans les c cases prospectées ;

c : nombre de cases prospectées ;

C : nombre total de cases de la cuve de sous-échantillonnage ;

X : surface échantillonnée en m².

La qualité biologique des sédiments est appréciée par l'IOBS :

$$IOBS = 10 \times S \cdot T - 1$$

avec

S : nombre total de taxons identifiés parmi les 100 oligochètes ;

T : pourcentage du groupe dominant de Tubificidae, avec ou sans soies capillaires, adultes et immatures confondus.

Tableau 58

Classes de qualité biologique des sédiments établies à l'aide de l'indice IOBS

Classes de qualité (couleurs)	Valeurs de l'indice IOBS	Niveau de qualité biologique des sédiments
Bleu	> ou = 6	Très bon
Vert	3 ≤ IOBS < 6	Bon
Jaune	2 ≤ IOBS < 3	Moyen
Orange	1 ≤ IOBS < 2	Médiocre
Rouge	IOBS < 1	Mauvais

L'analyse des valeurs de l'IOBS est complétée par l'examen des pourcentages de Tubificidae sans soies capillaires, décrivant un effet des micropolluants (métaux et/ou PCB*) pour des valeurs > 60 %.

L'IOBS a une valeur de 0 si l'échantillon ne comporte pas d'oligochètes et il est dit « Non Calculable » (NC) si l'échantillon présente moins de 100 oligochètes.

Le calendrier ci-dessous précise les périodes les plus favorables pour la réalisation de l'Indice oligochètes de bio-indication des sédiments (IOBS).

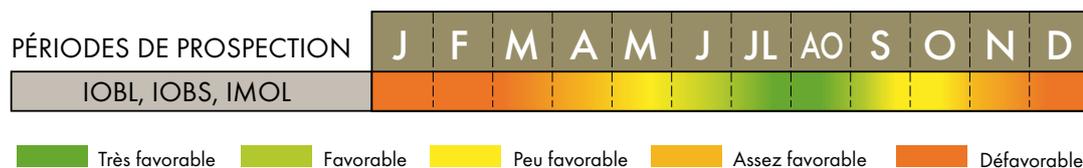


Tableau 59 Caractéristiques d'application de l'IOBS

Méthodes	Indice oligochètes de bio-indication des sédiments
Domaines d'application	Tous les cours d'eau européens
Limites	Non validé pour les zones d'estuaires, les eaux saumâtres, les milieux aquatiques insulaires. Parfois non performant pour les sédiments fins de sources et les sédiments sableux de petits cours d'eau montagnards, ainsi que pour les sédiments très instables et/ou recouverts d'un épais tapis d'algues ou de macrophytes*
Compétences requises	Prélèvement en eau courante (technicien) Très bonnes connaissances en techniques de laboratoire Détermination à l'espèce des oligochètes
Coûts	Compter 1 journée pour les prélèvements et la détermination

BIBLIOGRAPHIE

LAFONT M. - *Indice Oligochètes de Bio-indication des Sédiments (IOBS) NF T-90-390. Guide méthodologique.* Inter-Agences de l'Eau, 2002, 29 p.

LAFONT M., BERNOUD S. - *Bilan sur les indices oligochètes (IOBS et % de Tubificidae sans soies capillaires) - Intérêt et modalités d'intégration dans le SEQ-Biologie - Phase A : Bilan des applications.* Rapport InterAgences. - Cemagref, 1999.

LAFONT M., DURBEC A. - *Essai de description biologique des interactions entre eau de surface et eau souterraine : application à l'évaluation de la vulnérabilité d'un aquifère à la pollution d'un fleuve.* - Annals. Limnol., 1990 - 26, p. 119-129.

Texte normatif

NF T90-390 (2005) - *Indice Oligochètes de Bio-indication des Sédiments.*



42

FICHE 42

Diagnostic de la
qualité de l'air (lichens)



© Stocklib / M. Klushneu

DIAGNOSTIC DE LA QUALITÉ DE L'AIR (LICHENS)

GÉNÉRALITÉS

Les lichens* correspondent au premier stade de colonisation des milieux, avant les mousses et l'apparition de l'humus. Pour leur nutrition et donc leur croissance, ils sont entièrement sous la dépendance atmosphérique, qui leur apporte l'eau et les sels minéraux.

Un lichen est une structure autonome, le thalle lichénique, résultant de l'association symbiotique entre deux catégories de partenaires : un champignon, appelé mycosymbiote, et un organisme appelé photosymbiote qui est une algue verte (phycosymbiote) ou/et une cyanobactérie (cyanosymbiote).

Les lichens sont capables de faire des réserves et d'accumuler des composés minéraux, bien au-delà des besoins de leur organisme. Par la structure de leur thalle, ils sont plus sensibles que les végétaux à la pollution atmosphérique, même lorsque cette pollution est faible. Ils concentrent notamment les métaux lourds et certains

acides, ce qui peut entraîner leur mort. Les lichens sont donc sensibles aux polluants atmosphériques et de nombreuses espèces disparaissent lorsque la qualité de l'air se dégrade. Cette infériorité relative des lichens nous permet de les utiliser, entre autres, comme bio-indicateurs de la qualité de l'air. On peut soit doser les composés présents dans leurs tissus, ou tout simplement cartographier la répartition des espèces, en particulier les espèces épiphytes*, classées en fonction de leur toxitolérance* (résistance à la pollution). Ainsi, l'application de l'échelle de toxitolérance des lichens aux observations faites sur le terrain permet d'évaluer le niveau de la qualité de l'air.

MÉTHODES

L'évaluation du degré de pollution de l'air se base sur l'étude des lichens épiphytes ou corticoles présents sur des arbres dans des stations ouvertes. La prospection sur le terrain se fait de façon aussi dense que possible, en utilisant au maximum les potentialités de la végétation arborescente (support de développement privilégié des lichens épiphytes).

Tous les lichens ne sont pas égaux devant la pollution. S'ils y sont tous sensibles, ils n'y réagissent pas tous de la même façon. Certaines espèces sont particulièrement tolérantes et résistent mieux que d'autres aux agressions polluantes.



O. Delzons

Lichens et mousses épiphytes

En première approche, on peut dire que :

- les espèces les plus résistantes à la pollution sont des lichens crustacés ;
- les lichens fruticuleux sont, en général, fort sensibles à la pollution, leur présence indique que l'air n'est pas trop pollué ;
- les nombreuses espèces de lichens foliacés présentent des sensibilités différentes à la pollution, certaines résistent à une pollution forte, d'autres ne supportent pas la moindre trace de pollution.

Différentes stations sont identifiées, en fonction des caractéristiques du territoire d'étude.

L'observation de 1 à 10 arbres (4 sont souvent suffisants), connus pour être de bons porteurs de lichens, suffit, en fonction des potentialités de chaque station, à obtenir une représentation complète de la végétation lichénique.

Un indice de qualité est attribué à chaque zone en fonction des relevés effectués pour chaque station. Ces indices sont reportés sur un fond de carte ainsi que des courbes d'isopollution (de même pollution) qui délimitent des nuages ou des bandes, où la pollution de l'air est considérée comme équivalente, car les peuplements en lichens qui y ont été recensés présentent la même sensibilité aux polluants.

Ce zonage est alors mis en relation avec les autres aspects du milieu, comme l'état de la végétation, ou les activités industrielles.

Plusieurs grilles d'évaluation de la pollution de l'air sont disponibles, comme par exemple celle de HAWKSWORTH & ROSE (1970), la plus connue et la plus utilisée, ou encore celle de VAN HALUWYN

& LEROND (1986) (voir tableaux 60 et 61 pages suivantes).

La méthode de HAWKSWORTH & ROSE élaborée en Grande-Bretagne en 1970 est la technique la plus connue, et la plus utilisée jusqu'au début des années 80. L'évaluation du degré de pureté de l'air se fait en fonction des lichens corticoles présents sur les troncs des stations ouvertes (exclusion des forêts et des grands parcs).

À partir de la répartition d'environ 80 espèces de lichens épiphytes, HAWKSWORTH & ROSE définissent 11 zones de qualités différentes, numérotées de 0 à 10 :

- 0 correspond à la pollution maximale ; aucun épiphyte ne peut se développer sur les troncs, ce qui est généralement le cas dans le centre des villes qui sont de véritables déserts lichéniques ;
- 10 correspond à la pureté maximale ; les arbres présentent alors une grande richesse lichénique, avec les espèces les plus nobles (*Lobaria*, *Usnea*, *Teloschistes...*), mais qui disparaissent à la moindre pollution ;
- entre 0 et 10, les zones correspondent à l'apparition progressive de certaines espèces, à leur abondance relative ou à la possibilité pour elles de posséder certaines structures reproductrices.

Il y a ensuite visualisation des résultats en traçant sur des cartes des lignes d'isopollution ou des cercles de diamètre variable.

Tableau 60

Échelle d'estimation de la qualité de l'air en Grande-Bretagne et au Pays de Galles, à partir des lichens trouvés sur les écorces non eutrophisées (d'après HAWKSWORTH & ROSE - 1970)

Zones	Espèces de lichens
0	Épiphytes absents
1	<i>Pleurococcus viridis</i> limité à la base du tronc
2	<i>Pleurococcus</i> s.l. s'étend sur le tronc ; <i>Lecanora conizaeoides</i> est limité à la base.
3	<i>Lecanora conizaeoides</i> s'étend sur le tronc ; <i>Lepraria incana</i> devient fréquent à la base.
4	<i>Hypogymnia physodes</i> et/ou <i>Parmelia saxatilis</i> ou <i>Parmelia sulcata</i> apparaissent à la base. <i>Lecidea scalaris</i> , <i>Lecanora expallens</i> et <i>Chaenotheca ferruginea</i> souvent présents.
5	<i>Hypogymnia physodes</i> ou <i>P. saxatilis</i> s'étendent jusqu'à 2,5 m ou plus ; <i>P. glabratula</i> , <i>P. subrudecta</i> , <i>Parmeliopsis ambigua</i> et <i>Lecanora chlorotera</i> font leur apparition ; <i>Calicium viride</i> , <i>Lepraria candularis</i> , <i>Pertusaria amara</i> peuvent apparaître. Si <i>Ramalina farinacea</i> et <i>Evernia prunastri</i> sont présents, ils sont limités à la base ; <i>Plastimatia glauca</i> peut être présent sur les branches horizontales.
6	<i>Parmelia caperata</i> présent au moins à la base ; riches communautés de <i>Pertusaria</i> (<i>P. albescens</i> , <i>P. hymenea</i>) et de <i>Parmelia</i> (<i>P. tiliacea</i> , <i>P. exasperatula</i>), <i>Graphis elegans</i> , <i>Pseudevernia furfuracea</i> et <i>Alectoria fuscescens</i> présents dans les régions montagneuses.
7	<i>Parmelia caperata</i> , <i>P. revoluta</i> , <i>P. tiliacea</i> , <i>P. exasperatula</i> s'étendent sur le tronc ; apparition de <i>P. hemisphaerica</i> , <i>Usnea subfloridana</i> , <i>Rinodina roboris</i> et <i>Arthonia impolita</i> .
8	<i>Usnea ceratina</i> , <i>Parmelia perlata</i> ou <i>P. reticulata</i> apparaissent ; extension de <i>Rinodina roboris</i> ; <i>Normandina pulchella</i> et <i>Usnea rubigena</i> généralement présents.
9	<i>Lobaria pulmonaria</i> , <i>L. amplissima</i> , <i>Pachyphiale cornea</i> , <i>Dimerella lutea</i> ou <i>Usnea florida</i> présents ou lichens crustacés très bien développés avec généralement plus de vingt-cinq espèces sur des arbres bien illuminés
10	<i>Lobaria amplissima</i> , <i>L. scrobiculata</i> , <i>Sticta limbata</i> , <i>Pannaria</i> sp., <i>Usnea articulata</i> , <i>Usnea filipendula</i> ou <i>Teloschistes flavicans</i> .

Cette technique anglaise de Hawksworth et Rose est difficilement utilisable en France pour la cartographie de la qualité de l'air. Plusieurs raisons peuvent être données :

- la régression constante de la pollution par le SO₂ (les listes avaient été établies en période de pollution croissante où SO₂ dominait nettement les autres polluants) ;
- nécessité de connaître un nombre assez important d'espèces lichéniques caractéristiques des diverses zones de pollution (environ 80) ;
- les essences plantées en France n'ont pas les mêmes distributions de fréquence qu'en Grande-Bretagne ;
- les conditions écologiques (hygrométrie, vents...) ne sont pas tout à fait identiques au modèle que l'on rencontre en Grande-Bretagne.

Une technique nouvelle a été proposée en 1986 par C. VAN HALUWYN ET M. LEROND : l'évaluation par étude des associations lichéniques.

Pour établir l'échelle de correspondance entre lichens et pollution, les techniques de la phytosociologie ont été utilisées. Une communauté de lichens apporte plus de renseignements qu'un seul individu pris isolément. Lors de l'augmentation de pollution, les communautés lichéniques se fragmentent en de nouveaux groupements (contenant moins d'espèces) dont l'évolution reste bloquée, ou en groupements relictuels qui sont des altérations des communautés initiales.

Ces études ont permis de sélectionner un petit nombre d'espèces caractéristiques d'une région donnée, à une époque donnée, choisies pour leur facilité d'identification (même par des non-spécialistes), et de mettre au point une échelle comprenant 7 zones de pollution notées de A à G :

- A est la zone où la pollution est à son maximum, le SO₂ est extrêmement actif, aucun lichen corticole ne survit (véritable désert lichénique) ;

- B, C et D correspondent à des zones de très forte, forte, assez forte pollution ; dans la zone D les arbres présentent moins de 10 espèces lichéniques différentes (surtout des lichens crustacés) ;
- E est une zone de pollution moyenne avec apparition de quelques foliacés et un fruticuleux ;
- F et G sont des zones de faible ou très faible pollution et la richesse en lichens devient très significative ; certains troncs sont fortement recouverts de foliacés et de fruticuleux.

Tableau 61

Échelle d'estimation de la qualité de l'air de la moitié nord de la France (d'après C. VAN HALUWYN ET M. LEROND - 1986 - Modifié en 1997)

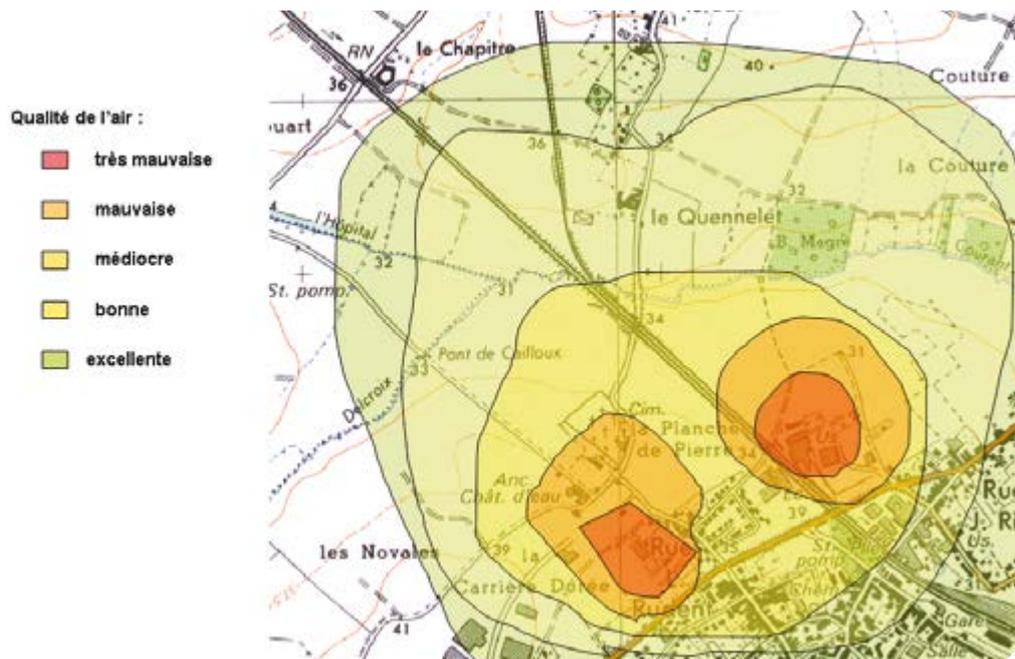
Zones	Niveau de pollution	Lichens recensés
Zone A	Pollution extrêmement forte	<i>Pleurococcus viridis</i> (algue)
Zone B	Pollution très forte	<i>Buellia punctata</i> <i>Lecanora conizaeoides</i>
Zone C	Pollution forte	<i>Lecanora expallens</i> <i>Lepraria incana</i>
Zone D	Pollution assez forte	<i>Diploicia canescens</i> <i>Lecidella elaeochroma</i> <i>Phaeophyscia orbicularis</i> <i>Physcia tenella</i> <i>Xanthoria polycarpa</i>
Zone E	Pollution moyenne	<i>Candelariella xanthostigma</i> <i>Evernia prunastri</i> <i>Hypogymnia physodes</i> <i>Parmelia sulcata</i> <i>Physcia adscendens</i> <i>Physconia grisea</i> <i>Pseudevernia furfuracea</i> <i>Xanthoria parietina</i>
Zone F	Pollution faible	<i>Parmelia acetabulum</i> <i>Parmelia caperata</i> <i>Parmelia glabratula</i> <i>Parmelia pastillifera</i> <i>Parmelia soledians</i> <i>Parmelia subaurifera</i> <i>Parmelia subrudecta</i> <i>Parmelia tiliacea</i> <i>Pertusaria amara</i> <i>Pertusaria pertusa</i> <i>Phlyctis argena</i> <i>Ramalina farinacea</i> <i>Ramalina fastigiata</i> <i>Xanthoria candelaria</i>
Zone G	Pollution très faible	<i>Anaptychia ciliaris</i> <i>Parmelia perlata</i> <i>Parmelia reticulata</i> <i>Parmelia revoluta</i> <i>Physcia aipolia</i> <i>Physconia distorta</i> (= <i>pulverulacea</i>) <i>Ramalina fraxinea</i>

Ces deux méthodes mesurent l'acidité de l'air en tenant compte de la sensibilité des lichens au dioxyde de soufre (SO₂). D'autres méthodes utilisent la sensibilité à différents composés atmos-

phériques, comme les oxydes d'azote, ou l'ammoniac, ou un dosage, dans les tissus des lichens, des dioxines, des furanes et des hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Figure 62

Carte théorique de qualité de l'air obtenue suite à un diagnostic écolichénique. Les zones en rouge sont les plus polluées, celles en vert les zones les moins polluées - Fond de carte BD carto® IGN, Francièrme® (Claritas)

**Tableau 62** Caractéristiques d'application d'un diagnostic écolichénique de l'air

Méthodes	Habitats naturels
Domaines d'application	Évaluation globale de la qualité de l'air sur un territoire donné, pour une entreprise ou une collectivité
Limites	Appréciation globale de la qualité de l'air sans pouvoir identifier la nature précise des pollutions, ni leur quantification. Échelle fiable pour la moitié nord de la France (au sens large), le Benelux et le sud de l'Angleterre. Ailleurs, la méthode peut être mise en œuvre sous réserve de reconstruire une échelle adaptée au contexte écologique local.
Compétences requises	Savoir reconnaître une quarantaine d'espèces banales de lichens. Aptitudes à un diagnostic de terrain.
Coûts	Compter quelques jours à quelques semaines selon l'étendue du territoire d'étude.

BIBLIOGRAPHIE

GAVÉRIAUX J.P. - *Les lichens et la bio-indication de la qualité de l'air* - CRDP de l'académie d'Amiens, 1996.

KIRSCHBAUM, WIRTH - *Les lichens bio-indicateurs* - ULMER, 1997.

LEROND M. - Utilisation des lichens pour la cartographie et le suivi de la pollution atmosphérique - Bulletin d'Écologie, 1984 - 15(1), p. 7-11.

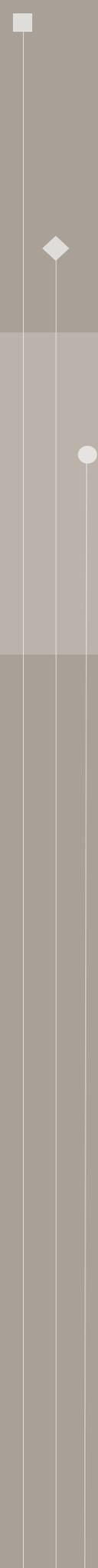
TIÉVANT P. - *Guide des lichens* - Delachaux et Niestlé - Les guides du naturaliste.

VAN HALUWYN C., LEROND M. - *Guide des lichens* - Paris : Lechevalier, 1993.

VAN HALUWYN C., LEROND M. - *Les lichens et la qualité de l'air. Évolution méthodologique et limites.* - Paris : ministère de l'Environnement, 1986.

<http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/ress/environnement/lichen.html>

<http://www2.ac-lille.fr/myconord/afl.htm>



ANNEXE A

Zonages et espèces
d'intérêt écologique

1 Espaces naturels d'intérêt écologique

La valeur patrimoniale d'un site peut avoir été reconnue via sa prise en compte dans un périmètre d'inventaire officiel ou de protection, l'absence de protection de l'espace ne préjugeant cependant en aucun cas d'un éventuel manque d'intérêt.

Les principaux espaces protégés en France peuvent être subdivisés en :

• espaces de protection :

- **Réserves naturelles nationales**

150 sites en France métropolitaine, plus 6 réserves naturelles corses, visant à protéger les milieux naturels remarquables ou menacés, avec une réglementation spécifique ;

- **Réserves naturelles régionales**

131 sites en France métropolitaine. Il s'agit le plus souvent des anciennes réserves naturelles volontaires. L'acte de classement d'une RNR peut soumettre à un régime particulier ou, le cas échéant, interdire : les activités agricoles, pastorales et forestières, l'exécution de travaux, de constructions et d'installations diverses, la circulation et le stationnement des personnes, des animaux et des véhicules, le jet ou le dépôt de matériaux, résidus et détritiques de quelque nature que ce soit pouvant porter atteinte au milieu naturel, les actions de nature à porter atteinte à l'intégrité des animaux non domestiques ou des végétaux non cultivés de la réserve ainsi que l'enlèvement, hors de la réserve, de ces animaux ou végétaux. Contrairement à ce qui est prévu pour les réserves nationales, la réglementation ou l'interdiction de la chasse ou de la pêche, de l'extraction de matériaux et de l'utilisation des eaux n'est pas prévue dans les RNR ;

- **Arrêtés de Protection de Biotope** : la préfecture peut prendre toutes mesures destinées à favoriser la conservation des biotopes ; en 2013, ces arrêtés concernaient 752 sites pour 1536 km² en métropole ;

• espaces de gestion concertée :

espaces qui possèdent une valeur patrimoniale reconnue mais ne bénéficient pas nécessairement d'un statut de protection :

- **Parcs nationaux** : une zone périphérique « tampon » encercle une ou plusieurs zones centrales, où des activités telles que la chasse et la pêche, les activités industrielles, l'utilisation de l'eau, la circulation du public, etc. sont réglementées. En France métropolitaine, on recense les parcs nationaux de la Vanoise, de Port-Cros, des Pyrénées occidentales, des Cévennes, des Écrins et du Mercantour des Calanques ;

- **Parcs naturels régionaux**, cherchant à protéger les territoires à l'équilibre fragile, au patrimoine naturel et culturel riche et menacé, faisant l'objet d'un projet de développement, fondé sur la préservation et la valorisation du patrimoine. Ils sont régis par une charte, n'imposant aucune servitude ni réglementation directe à l'égard des citoyens, mais opposable aux documents d'aménagement du territoire. 147 sites correspondent à 14 % du territoire français métropolitain ;

- **Zones Natura 2000**, réseau écologique européen, visant à préserver les espèces et les habitats menacés et/ou remarquables sur le territoire européen. Le réseau Natura 2000 est constitué de deux types de zones naturelles, à savoir les Zones Spéciales de Conservation (ZSC) issues de la directive européenne Habitats de 1992 et les Zones de Protection Spéciale (ZPS) issues de la directive européenne Oiseaux de 1979. Un plan de gestion et des mesures contractuelles avec les propriétaires permettent de préserver le patrimoine naturel ;
- **Conservatoires régionaux d'Espaces naturels**, réseau d'associations basé sur la maîtrise foncière ou des conventions de gestion de milieux naturels ; les 29 CEN gèrent 121 000 ha sur plus de 2200 sites ;
- **Espaces naturels sensibles**, mis en place par les Conseils généraux des départements, par la perception de la taxe départementale des ENS, conduisant à l'acquisition, l'aménagement et la gestion d'espaces naturels ; regroupent 3050 sites pour plus de 170 000 ha ;
- **Réserves biologiques intégrales de l'Office national des Forêts (ONF)** créées pour laisser libre cours à la dynamique spontanée des habitats, aux fins d'étude et de connaissance des processus impliqués, ainsi que de conservation ou développement de la biodiversité* associée ; toutes opérations sylvicoles sont exclues ; concernaient 46 sites en 2013 ;
- **Sites du Conservatoire de l'Espace littoral et des Rivages lacustres**: en métropole environ 135 000 ha sur 528 sites naturels ont pour vocation la protection du littoral, par le biais d'acquisitions foncières ;
- **Réserves biologiques dirigées de l'ONF**, visant à protéger et assurer la gestion conservatoire d'habitats naturels particulièrement intéressants ou rares, d'espèces rares ou menacées de la faune et de la flore, voire d'autres ressources du milieu naturel, 131 sites ;
- **Réserves biologiques forestières**, constituées principalement dans les autres forêts relevant de collectivités (communes, départements,...) ; comptent 34 sites ;
- **Réserves nationales de Chasse et de Faune sauvage**, interdisant tout acte de chasse ; concernent 9 sites, soit 36 173 ha ;

• zones d'inventaires :

- **ZNIEFF** : initié en 1982, l'inventaire des Zones naturelles d'Intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF) a pour objectif d'identifier et de décrire des secteurs présentant de fortes capacités biologiques et un bon état de conservation. Deux types de ZNIEFF existent :
 - les ZNIEFF de type I : secteurs de grand intérêt biologique ou écologique ;
 - les ZNIEFF de type II : grands ensembles naturels riches et peu modifiés, offrant des potentialités biologiques importantes.

Cet inventaire est devenu aujourd'hui un des éléments majeurs de la politique de protection de la nature. Il doit être consulté dans le cadre de projets d'aménagement du territoire (document d'urbanisme, création d'espaces protégés, élaboration de schémas départementaux de carrière....) ;

- **Sites Ramsar** ; la convention internationale de Ramsar, signée en 1971 concerne, en 2013, 33 sites en France. Elle vise à conserver les zones humides à l'échelle mondiale. Ces zones humides sont choisies selon leur importance internationale au point de vue écologique, botanique, zoologique, limnologique ou hydrologique, et en particulier sur leur importance pour les oiseaux d'eau. La désignation comme site Ramsar ne confère pas en soi de statut juridique de protection ;
- **Réserves de biosphère**, représentant 11 sites en métropole (Îles et Mer d'Iroise, Fontainebleau-Gâtinais, Vosges du nord, Cévennes, Mont Ventoux, Luberon, Camargue, Vallée du Fango, Bassin de la Dordogne, Mont Viso, Marais Audomarois). Elles n'induisent pas de protection particulière de façon directe.

2 Espèces et habitats patrimoniaux

Sont considérés d'intérêt patrimonial fort tous les taxons :

- bénéficiant d'une protection légale ;
- inscrits sur la ou les liste(s) rouge(s), c'est-à-dire présentant un niveau de menace de « en danger critique d'extinction » à « vulnérable » ;
- présentant un niveau de rareté compris entre rare et exceptionnel ;
- déterminants de ZNIEFF dans la région concernée.

Sont considérés d'intérêt patrimonial fort tous les habitats :

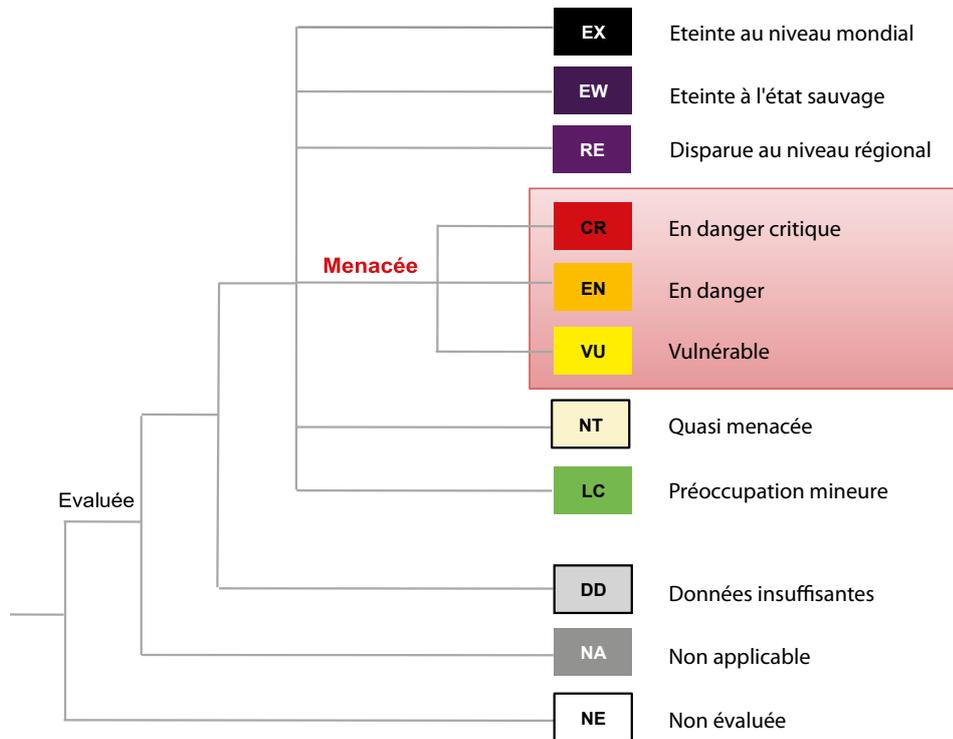
- inscrits à l'annexe I de la directive Habitats ;
- déterminants de ZNIEFF dans la région concernée ;
- inscrits sur la liste rouge de la région concernée.

a) Listes rouges

Elles visent à dresser un bilan objectif du degré de menace pesant sur les espèces à l'échelle du territoire national (mais aussi régional et international). Il s'agit de réunir les meilleures informations disponibles et les données les plus récentes sur le risque de disparition de notre territoire des espèces végétales et animales qui s'y reproduisent en milieu naturel, ou qui y sont régulièrement présentes. Une liste réactualisée est en cours d'élaboration pour la France, portant sur l'ensemble de la flore et de la faune.

Figure 63

Arborescence générale des catégories de l'UICN



b) Espèces protégées

Différents niveaux de protection des espèces peuvent être distingués (d'après anonyme, 2008) :

- **européen** (espèces des annexes II et IV de la directive 92/43/CEE, dite Habitats, et les espèces de l'annexe I de la directive Oiseaux. Ces espèces sont reprises dans les listes nationales des arrêtés ministériels de protection) ;
- **national** (arrêtés ministériels). Les listes concernent l'ensemble des groupes taxonomiques, avec des portées différentes selon les groupes. Ainsi, certaines protections (oiseaux, certains poissons ou mammifères...) visent principalement à réguler les activités de prélèvement (chasse, pêche...), tandis que d'autres ont pour fonction essentielle de préserver des espèces rares et/ou menacées (insectes, mollusques, écrevisses autochtones...). Pour le détail des textes, voir page 35 - Demande de dérogation sur des espèces protégées ;
- **régional** (arrêtés ministériels par région administrative) pour la flore (toutes les régions françaises) et les insectes (région Île-de-France uniquement). Sur le plan juridique, la portée des listes régionales est identique à celle des listes nationales.

La prise en compte des espèces protégées est une obligation générale. Tout projet doit faire l'objet d'une évaluation et, le cas échéant, d'une demande d'autorisation particulière si le projet est susceptible de porter atteinte à ces espèces, quel que soit le cadre juridique applicable au projet.

L'apollon *Parnassius apollo*, espèce bénéficiant d'une protection nationale, citée en annexe IV de la directive Habitats, et en annexe II des conventions de Berne et de Washington (Cites*).



Le régime juridique de préservation et de surveillance du patrimoine biologique a été récemment remanié. Il est notamment fixé par les articles L. 411-1 et suivants et R. 411-1 et suivants du Code de l'environnement.

Bibliographie

CHAUVIN *et al.* - *Prendre en compte les savoirs et savoir-faire locaux sur la nature. Les expériences françaises.* - IDDRI, 2004.

ÉCO-MED, CORDOLANI - *Guide des bonnes pratiques - Aide à la prise en compte du paysage et du milieu naturel dans les études d'impact de carrières en PACA.* - DIREN et DIRE PACA, 2006.

ELISSALDE-VIDEMENT L. *et al.* - *Guide méthodologique sur la modernisation de l'inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique. Mise à jour 2004.* - Paris : Muséum National d'Histoire Naturelle, 2004 - Coll. Patrimoines Naturels.

MAURIN H. *et al.* - *Guide méthodologique sur la modernisation de l'inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique.* - Orléans : Institut Français de l'Environnement, 1997 - Coll. Notes de méthode.

USHER M. - *Wildlife Conservation Evaluation.* - London : Chapman & Hall, 1986.

À consulter sur Internet

Le site de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN) recense la majorité des espaces naturels protégés en France, les listes d'espèces protégées, les listes rouges sur <http://inpn.mnhn.fr/>

L'ensemble des textes législatifs et réglementaires peut être consulté sur www.legifrance.gouv.fr.

Voir également les sites Internet des organismes suivants :

Parcs nationaux de France : www.parcsnationaux.fr

Fédération des Parcs naturels régionaux de France : www.parcs-naturels-regionaux.tm.fr

Réserves naturelles de France : www.reserves-naturelles.org

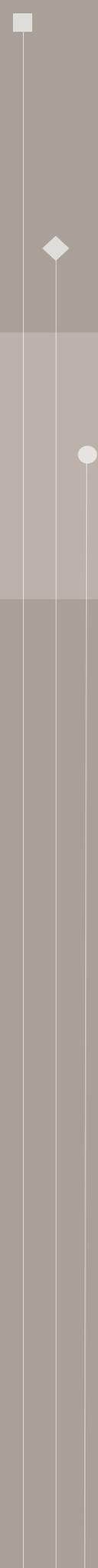
Fédération des Conservatoires d'Espaces naturels : www.reseau-cen.org

Conservatoire du littoral : www.conservatoire-du-littoral.fr

Réserves de biosphère en France : www.mab-france.org

Fédération des Conservatoires botaniques nationaux : www.fcbn.fr

ainsi que les réseaux des organismes et des experts de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature en France sur www.uicn.fr.



ANNEXE B

Valeur patrimoniale

Généralités

La notion de valeur patrimoniale est très vaste, et ses définitions nombreuses et variées. CHAUVIN (2004) définit par exemple un bien patrimonial comme « celui dans lequel les hommes se reconnaissent à titre individuel et collectif : ils le considèrent à la fois significatif de leur passé et précieux pour leur avenir ».

Plus simplement, la valeur patrimoniale d'un site (si l'on s'en tient au seul patrimoine naturel, à l'exclusion du patrimoine paysager, géologique, historique, ou de l'intérêt pédagogique) est estimée à partir des listes d'habitats et d'espèces présents sur le site. La valeur patrimoniale de la zone étudiée sera fonction de la valeur patrimoniale de chacune de ces composantes.

Ainsi, sur la base des inventaires réalisés, il est possible d'estimer la valeur patrimoniale d'un site à partir de son peuplement d'espèces et de ses habitats :

- la valeur patrimoniale d'une espèce est estimée selon son degré de rareté (locale, régionale, nationale, européenne...), son degré de menace de disparition à différentes échelles (régionale, nationale, européenne, mondiale), son statut de protection (régional, national, européen), parfois selon sa valeur culturelle ou d'usage ;
- la valeur patrimoniale d'un habitat dépend à la fois de la diversité des espèces présentes et de l'originalité de l'écosystème selon son degré de rareté, sa vulnérabilité, son statut de protection (annexe I de la directive Habitats...), et sa valeur culturelle ou d'usage.

L'inscription d'un site dans un espace naturel d'intérêt écologique (ZNIEFF, site Natura 2000, arrêté de biotope...) renseigne sur sa valeur patrimoniale.

Enfin, il convient de souligner que l'estimation de la valeur patrimoniale ne bénéficie pas d'une méthode objective unanime. Elle doit être affinée sur la base d'un avis d'expert connaissant le secteur d'étude.

Détermination de la valeur patrimoniale

La caractérisation d'espèces et d'habitats patrimoniaux peut s'apparenter à la démarche initiant la définition de Zones naturelles d'Intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF), qui repose sur la valeur patrimoniale des espèces et des habitats.

L'identification d'une ZNIEFF se justifie par la présence d'un ou plusieurs écosystèmes*, d'espèces de faune et de flore ou de milieux rares ou remarquables dits « déterminants », c'est-à-dire bénéficiant d'un « intérêt patrimonial ». La zone peut, en outre, assurer un rôle de toute première importance dans le fonctionnement de l'environnement naturel dans lequel elle se trouve. Ainsi, de vastes prairies humides peuvent constituer un bassin naturel d'expansion des crues et avoir un rôle épuratoire. On parlera alors d'« intérêt fonctionnel ».

Les espèces et les habitats rares, menacés, avec une aire de répartition réduite sont considérés comme ayant un intérêt patrimonial fort.

De plus, la présence d'un statut juridique de protection pour une espèce ou un milieu, à l'échelle régionale, nationale, européenne ou mondiale, confirme leur caractère patrimonial.

Comment déterminer les espèces d'intérêt patrimonial ?

[(d'après ELISSALDE-VIDEMENT *et al.* (2004), dans le cadre de l'établissement d'une ZNIEFF)] :

Ce sont :

- les espèces rares (aire de répartition peu étendue, faible densité des stations au sein de l'aire, petites populations) ou remarquables répondant aux cotations mises en place par l'UICN ou extraites de livres rouges publiés nationalement, régionalement ou à l'échelle du département ;
- les espèces menacées, définies sur des listes rouges élaborées par l'application stricte et systématiques des cotations UICN ou de façon empirique par avis d'experts ;
- les espèces en limite d'aire ou à petite aire de répartition ;
- les espèces protégées nationalement, régionalement, ou faisant l'objet de réglementations européennes ou internationales lorsqu'elles présentent un intérêt patrimonial réel au regard du contexte national et régional ;
- les espèces à intérêt patrimonial régional (espèces à intérêt patrimonial moindre mais se trouvant dans des conditions écologiques ou biogéographiques particulières, en limite d'aire ou dont la population est particulièrement exceptionnelle par son effectif, sa qualité...) ;
- les espèces endémiques, à savoir des endémiques strictes (exclusivement sur le territoire français) et des sub-endémiques (France et un pays limitrophe mais avec le noyau principal en France ; espèce « pyrénéenne » par exemple) ;
- les espèces en voie de raréfaction ou d'effondrement, l'utilisation de ce critère supposant un suivi quantitatif des populations ;
- les espèces pour lesquelles le site considéré couvre une portion importante des populations nationales et internationales.

Il peut s'agir d'espèces indigènes (dont la présence en France est connue depuis des périodes fort anciennes ou apparues plus récemment mais spontanément), ou d'espèces naturalisées, d'installation plus récente mais occupant déjà une aire importante, n'ayant pas de comportement envahissant notable et s'étant parfaitement mêlées aux combinaisons floristiques, faunistiques et aux habitats sans en perturber le fonctionnement.

Ne sont pas considérées comme déterminantes les espèces naturalisées ayant une influence majeure sur le fonctionnement d'un écosystème* (exemple : comportement envahissant), les espèces sporadiques ou éphémères et non rudérales (plantes adventices, oiseaux accidentels...), les espèces subspontanées (introduites qui se maintiennent localement, mais sans jamais s'étendre) ainsi que les espèces cultivées (plantes) ou élevées (animaux).

Méthodes

À partir des listes d'espèces et d'habitats présents sur le site, on peut faire ressortir les espèces et habitats présentant un intérêt patrimonial particulier. Ces listes sont établies en combinant les inventaires menés sur le terrain, et les données disponibles dans la bibliographie, les zonages naturels, etc.

Une attention particulière sera portée au mode d'utilisation du site par les espèces, et aux fréquences de présence. Une espèce très occasionnelle, par exemple un oiseau vu une seule fois en migration sur un site, ne doit pas être prise en compte au même niveau qu'une autre espèce dont de nombreux individus fréquentent le site chaque hiver.

Les espèces animales se déplaçant en dehors des limites du site étudié sont à considérer avec attention. Les espèces mobiles comme les oiseaux, les chauves-souris, les poissons, peuvent vivre en grande partie en dehors d'un site, mais l'utiliser pendant un moment crucial de leur cycle de vie. Des brochets, passant le plus clair de leur temps dans la masse d'eau d'une rivière, dépendent ainsi grandement de la présence de prairies inondées au printemps où ils déposeront leurs pontes.

Même s'ils n'utilisent cet endroit qu'un mois par an, la disparition de ces prairies peut aussi entraîner à terme la disparition des brochets.

Le statut biologique (reproducteur, migrateur, etc.) des individus observés, et donc l'utilisation du site, est à prendre en compte de la même façon : les espèces l'utilisent-elles pour se nourrir, se reposer, se déplacer, se reproduire, etc. Par exemple, pour l'avifaune*, les espèces retenues comme patrimoniales sont en priorité les nicheurs. Pour les espèces hivernantes ou migratrices, une analyse des effectifs présents permettra de déterminer si l'on doit considérer le site comme important ou utile pour ces espèces, et donc si l'on doit prendre en compte ces espèces hivernantes dans le calcul de la valeur patrimoniale globale du site. Le même raisonnement peut être adopté pour les chauves-souris. Pour les poissons, les sites de frayère ou les nourriceries potentiels peuvent être étudiés en priorité, ou encore les sites de ponte pour les amphibiens.

Seuls les taxons* régulièrement observés au cours des dix dernières années, ou à forte valeur patrimoniale redécouverts après des années d'absence, peuvent être considérés. Une attention particulière est néanmoins accordée aux taxons d'apparition cyclique (insectes, orchidées).

À partir des informations collectées, chaque niveau de rareté et de menace est affecté d'une valeur. Celle-ci est d'autant plus élevée que le degré de rareté est élevé et/ou que le degré de menace est élevé.

Valeur floristique

Pour un secteur donné, une valeur floristique pour une espèce est obtenue en additionnant les valeurs qui sont attribuées à cette espèce pour sa rareté, son degré de menace et son statut de protection.

La valeur floristique pour un habitat est obtenue en additionnant les valeurs floristiques des espèces recensées dans l'habitat.

Sabot de Vénus
Cypripedium calceolus,
espèce protégée nationale,
figurant en annexe A de la
CITES*, et annexes II et IV de la
directive Habitats



Valeur faunistique

La valeur faunistique d'une espèce ou d'un habitat est obtenue sur le même principe que la valeur floristique décrite ci-dessus.

Valeur globale

Au-delà de sa valeur floristique ou faunistique, un écosystème* peut avoir un intérêt intrinsèque du fait de son mode de fonctionnement : tourbières, grottes, zones humides...

D'autres paramètres peuvent être retenus dans l'évaluation, comme le rôle micro-régional du secteur (continuité écologique, stationnement d'espèces, zone d'alimentation...). L'appréciation de cet intérêt est basée sur la bibliographie disponible pour la région concernée.

D'autres critères peuvent aussi compléter l'analyse de la valeur patrimoniale, tels que le degré de typicité ou de naturalité (USHER, 1986).

La sensibilité écologique globale d'un habitat ou d'une unité homogène permettra de répartir l'aire d'étude en secteurs selon leur type et leur niveau de sensibilité. La retranscription cartographique permettra au porteur du projet de visualiser plus facilement les secteurs à enjeux écologiques.

Limites d'application

La qualité du résultat dépend de la qualité des investigations préalables et de la plus ou moins grande exhaustivité de l'analyse de la faune, de la flore et des habitats ou de la pertinence des groupes étudiés. Les références nécessaires concernant la rareté et la vulnérabilité des espèces et des habitats n'existent pas toujours à une échelle locale. Des références européennes ou nationales donnent des indications mais ne sont pas toujours suffisantes.

Bibliographie

CHAUVIN *et al.* - *Prendre en compte les savoirs et savoir-faire locaux sur la nature. Les expériences françaises.* - IDDRI, 2004.

DE BEAUFORT F. - *Livre rouge des espèces menacées en France, tome 1 : Vertébrés.* - Paris : SFF MNHN, 1983.

DE BEAUFORT F. - *Livre rouge des espèces menacées en France, tome 2 : Espèces marines et littorales menacées* - Paris : SFF MNHN, 1987.

DOMMANGET J.L. *et al.* - Document préparatoire à une liste rouge des Odonates de France métropolitaine complétée par la liste des espèces à suivi prioritaire. - Société française d'odonatologie (Sfo), 2008 - Rapport non publié.

ÉCO-MED, CORDOLANI - Guide des bonnes pratiques - Aide à la prise en compte du paysage et du milieu naturel dans les études d'impact de carrières en PACA. - DIREN et DRIRE PACA, 2006.

EISSALDE-VIDEMENT L. *et al.* - Guide méthodologique sur la modernisation de l'inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique. Mise à jour 2004. - Paris : Muséum National d'Histoire Naturelle, 2004 - Coll. Patrimoines Naturels.

KEITH P., ALLARDI J., MOUTOU B. - Livre rouge des espèces menacées de poissons d'eau douce de France et bilan des introductions. - SFF MNHN/CSP/Cemagref/Ministère de l'Environnement, 1992.

LÉVÊQUE P. - Site de Courcelles-Bouafles - Eure, Renouveau d'autorisation d'exploitation de carrière. Étude d'impact faune-flore. - Sablières et entreprises Morillon-Corvol BECA Environnement, 2002.

MAURIN H. *et al.* - Guide méthodologique sur la modernisation de l'inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique. - Orléans : Institut Français de l'Environnement, 1997 - Coll. Notes de méthode.

MAURIN H. - Inventaire de la faune menacée en France. - Paris : Nathan, WWF France, MNHN, 1994.

OLIVIER L., GALLAND J.P., MAURIN H. - Livre rouge de la flore menacée de France. Tome I : Espèces prioritaires. - Paris : SPN-IEGB/MNHN, DNP/Ministère de l'Environnement, CBN Porquerrolles, 1995.

ROCAMORA G., YEATMAN-BERTHELOT D. - Oiseaux menacés et à surveiller en France. Listes rouges et recherche de priorités. Populations. Tendances. Menaces. Conservation. - Paris : Société d'Études Ornithologiques/Ligue pour la Protection des Oiseaux, 1999.

USHER M. - *Wildlife Conservation Evaluation*. - London : Chapman & Hall, 1986.

À consulter sur Internet

D'une manière générale, les sites Internet du MNHN et de l'INPN sont à consulter.

Le site de l'Inventaire national du Patrimoine naturel (INPN) recense notamment la majorité des espaces naturels protégés en France, les listes d'espèces protégées, les listes rouges sur <http://inpn.mnhn.fr/isb/index.jsp>.

Le réseau des organismes et des experts de l'Union internationale pour la Conservation de la Nature en France est consultable sur www.uicn.fr.

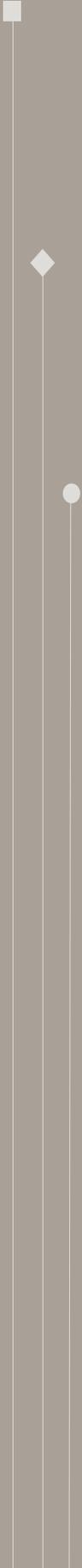
La liste rouge de l'UICN pour la France se trouve à la page <http://www.uicn.fr/Liste-rouge-France.html>

La directive n° 79-409 (CE) relative à la conservation des oiseaux sauvages constitue un prolongement de la Convention de Paris du 18 octobre 1950 relative à la protection des oiseaux sauvages pendant leur reproduction et leur migration. Elle concerne la conservation de toutes les espèces d'oiseaux migratrices vivant à l'état sauvage sur le territoire des états membres, ainsi que leurs œufs, nids et habitats.

Tous ces textes (directive Oiseaux, ZICO, etc.) sont accessibles sur www.droitnature.fr.

La directive européenne Habitats-Faune-Flore, plus communément appelée directive Habitats, s'applique aux pays de l'Union européenne depuis le 5 juin 1994. Elle a pour objet d'assurer le maintien de la diversité biologique par la conservation des habitats naturels, ainsi que de la faune et de la flore sauvages. La directive Habitats prévoit la mise sur pied d'un réseau de zones protégées baptisé Réseau Natura 2000.

Voir à ce sujet <http://droitnature.free.fr/Shtml/DirectiveHFF.shtml>



GLOSSAIRE & LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

Glossaire

ANADROME - Se dit d'un poisson migrateur, pondant en eau douce, et vivant à l'état adulte en milieu marin (saumons, aloses, lamproies).

ANATIDÉS - La plus importante famille d'oiseaux de l'ordre des Anseriformes ; elle comprend les oies, les cygnes, les canards et espèces apparentées.

ARDÉIDÉS - Famille d'oiseaux comprenant les hérons, aigrettes, butors. Il s'agit d'échassiers de taille moyenne à grande, à long bec, long cou et longues pattes.

ARTHROPODE - Animal invertébré, à squelette externe chitineux, dont le corps est annelé et les membres ou appendices composés d'articles. Ce groupe renferme plus de la moitié des espèces animales (crustacés, myriapodes [« mille-pattes »], insectes, arachnides [araignées]).

ASSOCIATION VÉGÉTALE - Concept et unité de base de la classification phytosociologique, résultant du traitement statistique d'un ensemble floristiquement homogène de relevés phytosociologiques réalisés dans une région. Ces relevés possèdent en commun un nombre d'espèces élevé par rapport au nombre total d'espèces inventoriées.

AUTO-ÉCOLOGIE - L'autécologie étudie des individus ou populations monospécifiques dans leur milieu (ou biotope). Elle s'intéresse aux exigences de l'espèce vis-à-vis des facteurs du milieu vivant (facteurs biotiques) et du milieu non vivant (facteurs abiotiques). Une étude auto-écologique simple s'intéresse notamment aux exigences de l'espèce comme son niveau trophique, l'amplitude de sa tolérance thermique, etc.

AVIFAUNE - Ensemble des espèces d'oiseaux d'une aire géographique donnée.

BENTHIQUE - Qualifie un organisme vivant au fond de l'eau, en relation avec le substrat.

BIOCÉNOSE (ou communauté) - Totalité des organismes coexistant dans un même biotope.

BIODIVERSITÉ - Désigne la diversité du monde vivant. Elle peut être envisagée à trois niveaux d'interprétation, à savoir la biodiversité génétique, la biodiversité des espèces et la biodiversité des milieux naturels.

BIOTOPE - Ensemble d'éléments caractérisant un milieu physico-chimique déterminé et uniforme qui héberge une flore et une faune spécifiques (la biocénose).

BIVALVE - Les bivalves sont des mollusques filtreurs dont la coquille est constituée de deux parties distinctes et attachées, plus ou moins symétriques, pouvant s'ouvrir ou se refermer. Cette classe comprend environ 30 000 espèces, notamment les moules, les huîtres et, en eau douce, les pisidies, les anodontes et les mulettes.

BRYOPHYTES - Groupe de végétaux sans vrai système vasculaire comprenant les Marchantiophytes (Hépatiques), les Anthocérophytes et les Bryophytes (mousses y compris les sphaignes).

CAHIERS D'HABITATS - Série d'ouvrages proposant un état des lieux des connaissances relatives aux habitats et aux espèces d'intérêt communautaire des annexes I (habitats) et II (espèces faune et flore) de la directive Habitats présents en France. Chaque habitat/espèce fait l'objet de fiche(s) de synthèse comportant un volet scientifique (identification, biologie, écologie) et un volet technique (cadre de gestion).

CANOPÉE - Étage supérieur de la forêt, directement influencé par le rayonnement solaire. Considérée comme un écosystème en tant que tel, notamment en forêt tropicale où elle est particulièrement riche de biodiversité et de productivité biologique.

CARABE - Insecte coléoptère le plus souvent carnivore de la famille des Carabidae, aux mâchoires puissantes, courant vite, aux couleurs souvent brillantes et irisées.

CHIROPTÈRE - Ordre de mammifères possédant une membrane de peau souple reliant les membres antérieurs et postérieurs au corps, leur conférant une aptitude au vol, autrement dénommés « chauves-souris ».

CHOROLOGIE - Étude de la répartition géographique des espèces animales et végétales et de son déterminisme.

COLÉOPTÈRE - Ordre d'insectes, caractérisés par leurs ailes antérieures durcies en élytres. C'est l'ordre d'insectes comprenant le plus d'espèces (10 000 en France), qui regroupe, par exemple, les coccinelles, les hannetons, les scarabées ou les carabes*.

COLUMBIDÉ - Famille d'oiseaux, comprenant essentiellement pigeons et tourterelles.

COMMUNAUTÉ (ou biocénose) - Totalité des organismes coexistant dans un même biotope.

COMMUNAUTÉ VÉGÉTALE - Ensemble des végétaux, structuré et généralement homogène, occupant une station.

CONNECTIVITÉ BIOLOGIQUE - Mesure des possibilités de mouvement des organismes entre les taches de la mosaïque paysagère. Elle est fonction de la composition du paysage, de sa configuration (arrangement spatial des éléments du paysage) et de l'adaptation du comportement des organismes à ces deux variables.

CORINE Biotopes - Système de classification hiérarchique des habitats européens basé sur la classification phytosociologique sigmatiste et une approche physionomique des milieux, où seuls les habitats naturels, quasi naturels ou subnaturels sont traités en détail.

CORRIDOR - Élément linéaire du paysage dont la physionomie diffère de l'environnement adjacent. Il a plusieurs rôles dont celui de conduit, qui favorise le mouvement et la dispersion d'espèces animales ou végétales entre deux habitats, ou de barrière qui les limite.

DÉRIVE - Dans les cours d'eau, organismes (en particuliers invertébrés) entraînés par le courant, représentant une forte potentialité de colonisation des milieux en aval.

DIATOMÉES - Microalgues unicellulaires planctoniques (de 2 µm à 1 mm) présentes dans tous les milieux aquatiques et enveloppées par un squelette externe siliceux. Elles peuvent vivre isolées ou en colonie, être libres dans l'eau ou fixées.

DIPTÈRES - Ordre d'insectes, avec la première paire d'ailes membraneuses et la seconde réduite en balanciers, comme les mouches, les moustiques et les syrphes*.

DULÇAQUICOLE - Organisme vivant en eau douce.

DYNAMIQUE DE LA VÉGÉTATION - Étude des modifications de la composition floristique et de la structure de la végétation au cours du temps. Elle va de périodes très courtes (modifications saisonnières) à beaucoup plus longues (successions, histoire de la végétation).

ÉCOSYSTÈME - Unité écologique fonctionnelle douée d'une certaine stabilité, constituée par un ensemble d'organismes vivants (biocénose) exploitant un milieu naturel déterminé (biotope) (voir HABITAT).

ENDÉMIQUE - Se dit d'un taxon qui ne se rencontre qu'en un lieu ou une région donnés.

ÉPIBENTHIQUE - Se dit d'un organisme vivant au fond de l'eau, sur la surface du substrat.

ÉPIGÉ - Se dit d'un organisme vivant au-dessus du niveau du sol.

ÉPIPHYTE - Plante qui se développe sur une autre plante sans la parasiter.

EUNIS - Système pan-européen de classification des habitats, prenant en compte tous les types d'habitats (naturels et artificiels, terrestres et marins), conçu pour correspondre avec les autres grands systèmes de classification européens (directive Habitats, CORINE Biotopes...).

EURYÈCE - Caractérise une espèce ayant une grande valence écologique (par opposition à sténoèce*). Peu spécialisée et n'ayant pas ou peu d'exigences particulières, cela concerne souvent les espèces dites « rustiques », mais aussi « ubiquistes », et parfois « envahissantes ».

EURYTOPE - Se dit d'un être vivant adapté à divers milieux et vivant dans ces milieux. Être n'ayant pas d'adaptations particulières, et donc généraliste en termes d'habitats (par opposition à sténotope).

EXUVIE - Chez les insectes, et plus généralement les arthropodes, l'exuvie est le squelette externe en chitine laissé par la larve après sa mue. Elle a la forme de l'insecte mais elle est vide. L'exuvie reproduit dans ses moindres détails la forme de l'insecte vivant et peut donc assez souvent être suffisante pour l'identifier.

FLORE - 1) Ensemble des espèces végétales présentes dans un territoire donné 2) Par extension, document ou ouvrage contenant l'inventaire de ces espèces et les moyens de les identifier.

FLORICOLE - Se dit notamment des insectes vivant sur les fleurs.

FORMATION VÉGÉTALE - Végétation de physionomie relativement homogène due à la dominance d'une ou plusieurs forme(s) biologique(s).

FRONDICOLE - Relatif aux animaux vivant dans les arbres.

GASTÉROPODES - Famille qui regroupe des escargots, dont la coquille en spirale est caractéristique, mais aussi des limaces. En eau douce, on trouve par exemple les limnées et les planorbes.

GÉNITALIAS - On appelle génitalias l'ensemble des pièces de l'armature génitale des insectes. Ce sont souvent des éléments clés de reconnaissance des espèces.

GROUPEMENT VÉGÉTAL - Terme général désignant une unité phytosociologique sans préjuger de son identification et de son niveau dans la classification (voir association végétale).

HABITAT D'ESPÈCE - Conditions abiotiques et biotiques dans lesquelles se maintient une espèce à l'état spontané.

HABITAT NATUREL - Ensemble reconnaissable, formé par des conditions stationnelles (climat, sol, relief) et par une biocénose caractéristique aussi bien végétale qu'animale. Compte tenu de leur caractère intégrateur des conditions de milieu et du fonctionnement du système, ce sont les communautés végétales (et leurs complexes) qui sont fréquemment utilisées pour caractériser les habitats. Les habitats naturels sont donc ainsi souvent définis par l'approche phytosociologique.

HÉLIOPHILE - Littéralement : organisme « aimant le soleil » ; se dit par exemple des végétaux qui ne peuvent se développer complètement qu'en pleine lumière.

HÉLOPHYTES - Plantes dont les organes de renouvellement se situent dans la vase, et dont les organes végétatifs sont aériens et souvent dressés (par ex. « roseaux »).

HERPÉTOFAUNE - Ensemble des espèces de reptiles (lézards, serpents, tortues) et d'amphibiens (grenouilles, crapauds, salamandres, tritons) d'une aire géographique donnée.

HÉTÉROCÈRES - Les insectes lépidoptères* (« papillons ») sont divisés artificiellement en deux sous-groupes, les rhopalocères* (ou « papillons de jour ») et les hétérocères* (« papillons de nuit »). Il n'existe pas de différences permettant de séparer simplement ces deux groupes, ni en terme anatomique, ni au niveau du comportement (certains hétérocères sont diurnes, comme les zygènes ou certains sphynxs). En Europe cependant, les rhopalocères ont toujours des antennes en forme de massues, ce qui n'est jamais le cas des hétérocères.

HYMÉNOPTÈRES - Ordre d'insectes pourvus généralement de deux paires d'ailes membraneuses couplées à l'aide de minuscules crochets, comprenant les abeilles, les guêpes, les fourmis, les frelons ou les bourdons.

HYPOLIMNION - Couche d'eau d'un lac située sous le métalimnion, en dessous de la thermocline. C'est la couche thermique la plus profonde d'un lac ou d'une mer fermée, toujours froide et à température peu variable ; elle est située, selon la saison, en dessous de 15 à 30 m de profondeur.

HYPORHÉIQUE - Se dit des espèces, notamment d'invertébrés, passant une partie de leur cycle enfouies dans le substrat des cours d'eau.

HYPOXIQUE - Milieu présentant un déficit en oxygène.

ICHTYOFAUNE - Partie de la faune rassemblant les poissons.

IMAGO - Individu ou stade qui fait immédiatement suite à la métamorphose chez les espèces ovipares, à la mise bas chez les espèces vivipares ou ovovivipares, ou à l'éclosion chez les espèces à développement direct. Ce terme désigne par exemple l'insecte adulte.

INVERTIVORE - Organisme se nourrissant d'invertébrés.

LARIDÉS - Famille d'oiseaux comprenant les goélands, les mouettes et les sternes.

LÉPIDOPTÈRES - Ordre d'insectes couramment appelés « papillons », divisés en rhopalocères* et hétérocères*. Ils possèdent généralement deux paires d'ailes membraneuses recouvertes d'écailles.

LICHENS - Les lichens sont le résultat d'une symbiose entre un champignon hétérotrophe (ascomycète, basidiomycète ou deutéromycète) et une algue verte ou une cyanobactérie, autotrophes (chlorophylliens).

LIMICOLES - Petits échassiers appartenant à l'ordre des Charadriiformes (sous-ordre des Charadrii) : huîtriers, échasses, avocettes, œdicnèmes, vanneaux, pluviers, bécasses, bécassines, courlis, chevaliers... Limicole vient du latin limus : limon, boue. En effet, la majorité des espèces consomment des petits invertébrés vivant dans la vase ou l'humus.

LITHOPHILE - Littéralement « qui aime les pierres », organisme vivant sur un substrat rocheux.

MACROPHYTES - Plantes vasculaires strictement aquatiques, visibles à l'œil nu, comme le nénuphar, la renoncule aquatique ou le potamot.

MÉGAPHORBIAIE - Nom donné en zone tempérée au stade floristique de transition entre la zone humide et la forêt.

MILIEU LENTIQUE - Ensemble des eaux douces à circulations lentes ou nulles (étangs, lacs, etc.) et s'opposant à milieu lotique.

MILIEU LOTIQUE - Milieu se caractérisant par une circulation rapide de l'eau, la plupart du temps permanente. Correspond aux ruisselets, ruisseaux, torrents, rivières et fleuves.

MILIEU OUVERT - Milieu dominé par des formations végétales herbacées, par opposition aux bois et aux broussailles qui constituent des milieux fermés.

MYCÉTOPHILE - Littéralement « qui aime les champignons ». Se dit notamment des insectes se nourrissant de champignons.

NATURA 2000 - Réseau écologique européen cohérent formé par les Zones de Protection spéciale (directive Oiseaux) et les Zones spéciales de Conservation (directive Habitats). Dans les zones de ce réseau, les États membres s'engagent à maintenir dans un état de conservation favorable les types d'habitats et d'espèces concernés. Pour ce faire, ils peuvent utiliser des mesures réglementaires, administratives ou contractuelles.

ODONATES - Ordre d'insectes aquatiques à corps allongé, pourvus de deux paires d'ailes translucides à nervation complexe et de très grands yeux composés, regroupant les « libellules », aeshnes, gomphes (Anisoptères) et les « demoiselles », agrions, lestes (Zygoptères).

ORTHOPTÈRES - Ordre d'insectes aux pattes postérieures habituellement adaptées au saut, comme les sauterelles, criquets, grillons et courtilières.

OXYPHILE - Qui a de l'affinité pour l'oxygène.

PASSÉRIFORMES (ou passereaux) - Ordre d'oiseaux, généralement de petite taille et chanteurs comme les alouettes, les mésanges, les grives ou les bruants.

PÉLAGIQUE - Organisme aquatique vivant en pleine eau, sans lien avec le fond.

PELOUSE - Formation végétale herbacée, constituée de végétaux de petite taille.

PEUPEMENT - Totalité des individus, de toutes les espèces appartenant à un groupe donné (souvent systématique), par exemple toutes les espèces de mammifères, d'oiseaux ou de batraciens qui présentent une écologie semblable et qui occupent un biotope à un moment donné.

PHANÉROGAME - Se dit de plantes aux organes reproducteurs apparents : « plantes à fleurs ».

PHÉNOLOGIE - Étude de l'apparition d'événements périodiques (annuels le plus souvent) dans le monde vivant, souvent déterminée par les variations saisonnières du climat.

PHYTOSOCIOLOGIE - Étude synthétique des communautés de végétaux spontanés, afin de les définir et de les classer selon des critères floristiques et statiques, de caractériser leur structure et leur organisation, leur origine, leur genèse et leur évolution ainsi que leur habitats.

PICIDÉS - Famille d'oiseaux de taille petite à plutôt grande, au bec droit et fort. Leurs courtes pattes portent 4 longs doigts, rarement 3. La plupart ont la queue constituée de solides rectrices servant d'appui contre l'écorce des arbres. Leur longue langue est munie d'une pointe barbelée, adaptée à saisir les insectes.

PLANTES VASCULAIRES (ou Trachéophytes) - Plantes pourvues de vaisseaux assurant la circulation de la sève, soit toutes les plantes à fleurs et fougères, à l'exclusion des algues et des bryophytes (mousses au sens large).

POLYCALIQUE - Qualifie les colonies de fourmis qui se répartissent entre plusieurs colonies « sœurs »

POPULATION - Ensemble des individus d'une même espèce qui cohabitent et se reproduisent entre eux. C'est une unité à la fois démographique et génétique de première importance. Ses limites sont parfois évidentes (par exemple la population de brochets d'un lac) mais souvent beaucoup moins : les crapauds fréquentant une carrière font partie d'une population débordant souvent sur un territoire beaucoup plus large.

PRAIRIE - Formation végétale herbacée dense assez haute, dont le dynamisme naturel vers un stade boisé est stoppé par la pratique régulière des coupes ou du pâturage.

PSAMMOPHILE - Organisme vivant dans ou sur des substrats sableux (notamment des dunes).

RALLIDÉS - Oiseaux habitant la végétation des zones humides, vivant soit au sol, cachés parmi les plantes semi-aquatiques (râles, marouettes, talèves), soit nageant parmi les hélophytes des eaux calmes (foulques, poules d'eau).

RHÉOPHILE - Organisme adapté à vivre en courant d'eau intense et permanent.

RHOPALOCÈRES - Lépidoptères autres que les hétérocères. Les espèces européennes sont diurnes et se reconnaissent à leurs antennes en forme de massue.

SAPROXYLIQUE - Espèce dépendant de la décomposition du bois pour au moins une étape de son cycle de développement. On parle de « communauté saproxylique » pour décrire les groupes d'organismes fongiques, bactériens et invertébrés qui décomposent le bois pour s'en nourrir.

SPÉCIFIQUE - En biologie, employé dans le sens de « relatif à l'espèce ».

SCHORRE - Milieu naturel à végétation basse situé en bordure haute des vasières littorales, soit la partie haute des marais maritimes.

STATION - Étendue de terrain de superficie variable, homogène dans ses conditions biotiques et abiotiques (microclimat, microtopographie, sol, composition et structure de la végétation).

STÉNOÈCE - Être vivant présentant une niche écologique étroite (spécialiste) et donc une faible capacité d'adaptation face aux modifications du milieu (par opposition à euryèce*).

STÉNOTOPE - Se dit d'un être vivant adapté à un milieu (spécialiste), sans possibilité d'en changer rapidement (par opposition à eurytope*).

SYMPATRIE - Partage d'un même territoire géographique par des plantes ou des animaux appartenant à des taxons* différents.

SYNCHROLOGIE - Répartition géographique du syntaxon*.

SYNÉCOLOGIE - Branche de l'écologie qui étudie les écosystèmes.

SYNSYSTÈME - Ensemble de la classification de la communauté végétale*.

SYNTAXON - Communauté végétale identifiée, quel que soit son rang, dans la classification phytosociologique.

SYRPHIDÉS - Famille de diptères*, aux couleurs souvent vives et très habiles en vol (vol stationnaire).

TAXON - Unité de classification de rang indéterminé.

TERRITOIRE - Espace exclusif dans lequel un individu, un couple ou un groupe social se reproduit. Le territoire a plusieurs fonctions, notamment celle d'attirer et de retenir un partenaire sexuel et celle de s'assurer les ressources alimentaires qui seront nécessaires à sa famille.

TOXITOLÉRANCE - Capacité de résistance aux pollutions.

TURDIDÉS - Famille d'oiseaux passériformes*, comme le rouge-gorge, le rossignol, le merle, la gorgebleue ou la grive.

VÉGÉTATION - Végétaux présents dans un territoire donné, quelle que soit son étendue, considérés dans leurs ensembles structurés.

XYLOPHILE - Littéralement : « qui aime le bois ».

Liste des acronymes

- ABC** - Atlas de la Biodiversité dans les Communes
- ADASEA** - Association départementale pour l'Aménagement des Structures des Exploitations agricoles
- AFIE** - Association Française Interprofessionnelle des Écologues
- AFNOR** - Association française de Normalisation
- ATEN** - Atelier technique des Espaces naturels
- CarHAB** - Cartographie nationale des Habitats terrestres
- CBN** - Conservatoire botanique national
- CEE** - Communauté économique européenne
- CNPN** - Conseil national de la Protection de la Nature
- CITES** - Convention pour le Commerce international des Espèces de Faune et de Flore menacées d'Extinction, dite aussi Convention de Washington
- CPIE** - Centre permanent d'Initiatives pour l'Environnement
- CSRPN** - Conseil scientifique régional du Patrimoine naturel
- CNPN** - Conseil national de Protection de la Nature
- DCE** - Directive Cadre sur l'Eau
- DOCOB** - Document d'Objectifs qui définit les mesures à mettre en oeuvre pour chaque site Natura 2000
- DREAL** - Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
- EFP** - Échantillonnage fréquentiel progressif
- ENCCEM** - Environnement, Carrières et Matériaux de Construction
- FCBN** - Fédération des Conservatoires botaniques nationaux
- FSD** - Formulaire Standard de Données
- GPS** - Global Positioning System
- IDB** - Indice biologique Diatomées
- IBCC** - International Birds Census Committee
- IBEM** - Indice de Biodiversité des Étangs et des Mares
- IBGA** - Indice biologique global adapté
- IBGN** - Indice biologique global normalisé
- IBML** - Indice biologique macrophytique en Lac
- IBMR** - Indice biologique macrophytique en Rivière
- IBQS** - Indice biologique de Qualité des Sols
- ICPE** - Installation classée pour la Protection de l'Environnement
- IGN** - Institut national de l'Information géographique et forestière
- IKA** - Indice kilométrique d'Abondance
- IMOL** - Indice Mollusques
- INPN** - Inventaire national du Patrimoine naturel
- INRA** - Institut national de la Recherche agronomique

Liste des acronymes

InventFor - Inventaires entomologiques en Forêts
IOBL - Indice oligochètes de Bio-indication lacustre
IOBS - Indice oligochètes de Bio-indication des sédiments
IPA - Indice ponctuel d'Abondance
IPLAC - Indice Phytoplancton lacustre
IPR - Indice Poissons Rivière
IPS - Indice de Polluo-sensibilité spécifique
JORF - Journal officiel de la République française
LPO - Ligue pour la Protection des Oiseaux
MNHN - Muséum national d'Histoire naturelle
ONCFS - Office national de la Chasse et de la Faune sauvage
ONEMA - Office national de l'Eau et des Milieux aquatiques
ONF - Office national des Forêts
OPIE - Office pour les Insectes et leur Environnement
PCB - Polychlorobiphényles, famille de plus de 200 composés aromatiques organochlorés dérivés du biphényle
PLU - Plan local d'Urbanisme
pSIC - Proposition de Site d'Intérêt communautaire
SAGE - Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SBF - Société botanique de France
SCoT - Schéma de Cohérence territoriale
SDAGE - Schéma directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SDC - Schéma départemental des Carrières
SEQ-Eau - Système d'Évaluation de la Qualité de l'Eau
SHF - Société herpétologique de France
SIC - Site d'Intérêt communautaire
SINP - Système d'Information sur la Nature et les Paysages
SNB - Stratégie nationale pour la Biodiversité
SRCE - Schéma régional de Cohérence écologique
STOC EPS - Suivi Temporel des Oiseaux Communs par Échantillonnage Ponctuel Simple
STOC - Capture - Suivi temporel des Oiseaux communs par Capture
STORI - Suivi temporel des oiseaux nicheurs en rivière.
TVB - Trame verte et bleue
UICN - Union internationale pour la Conservation de la Nature
UNPG - Union nationale des Producteurs de Granulats
ZICO - Zone importante pour la Conservation des Oiseaux
ZNIEFF - Zone naturelle d'Intérêt écologique, floristique et faunistique
ZPS - Zone de Protection spéciale
ZSC - Zone spéciale de Conservation



UNION NATIONALE DES
PRODUCTEURS DE GRANULATS

3, rue Alfred Roll, 75849 Paris Cedex 17 - Tél. : 01 44 01 47 01 - unpg@unicem.fr
www.unpg.fr

L'UNPG est membre de l'UNICEM, Union nationale des industries de
carrières et matériaux de construction.