

Les groupes d'insectes cibles en forêt tempérée : chap 4, part I Les coleoptères carabidae

Christophe Bouget, L.M. Nageleisen, Christophe Bouget

▶ **To cite this version:**

Christophe Bouget, L.M. Nageleisen, Christophe Bouget. Les groupes d'insectes cibles en forêt tempérée : chap 4, part I Les coleoptères carabidae. L'etude des insectes en foret : methodes et techniques, elements essentiels pour une standardisation, ONF, pp.91-98, 2009, Les dossiers forestiers n° 19, 978-2-84207-343-5. hal-02593486

HAL Id: hal-02593486
https://hal.inrae.fr/hal-02593486

Submitted on 15 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Rappelons que l'immense diversité des insectes rend impossible l'exhaustivité de leur inventaire. C'est pourquoi le groupe de travail Inv.Ent.for. propose d'étudier en priorité 5 groupes d'insectes à la diversité plus ou moins grande : les Coléoptères Carabidae, les Coléoptères saproxyliques, les Diptères Syrphidés, les Lépidoptères et les Fourmis rousses (Hyménoptères). Le choix de ces goupes s'est fait selon des critères de diversité, de rôle écologique et de représentativité dans l'écosystème forestier et les écosystèmes associés (clairières, landes pré-forestières, etc.), selon les connaissances sur leur biologie et sur leur taxonomie, et enfin selon l'existence d'une méthode d'échantillonnage fiable et utilisable. Ce chapitre présente chaque groupe et propose les méthodes les plus pertinentes pour les échantillonner.

I - LES COLEOPTERES CARABIDAE

(Christophe Bouget)

I.1 - Présentation du groupe

Diversité taxonomique

Plus de 40.000 espèces de Carabidae ont été décrites à ce jour (Lövei et Sunderland, 1996) : près de 2.700 occupent l'Europe, ce qui en fait la plus grande famille de Coléoptères Adephaga et la troisième famille de Coléoptères derrière les Staphylinidae et les Curculionidae. La famille des Carabidae compte un peu plus de 1.000 espèces en France, contre 1.292 en Italie à titre comparatif (Minelli *et al.*, 1995). Le tableau ci-dessous illustre cette diversité à différentes échelles géographiques. A titre d'exemple, pour des échelles plus locales, nous avons piégé une centaine d'espèces en chênaie-charmaie neutrocline à acidicline en Brie, une trentaine d'espèces par type de peuplement à station contrôlée, et une quinzaine par placette en forêt de Montargis (Bouget, 2001).

Tableau 14 : Quelques exemples de la diversité des Coléoptères Carabiques en fonction de l'échelle spatiale.

Echelle spatiale	Exemple	Richesse spécifique	Références
Etat	France	# 1000	
Région	Rhône-Alpes	549	Coulon *et al.* (2000)
	Alsace	352	Callot et Schott (1993)
Département	Indre-et-Loire	306	Cocquempot *et al.* (1997)
Massif forestier	Forêt domaniale de Fontainebleau	312	Cantonnet *et al.* (1997) Casset et Toda (2001)
	Forêt domaniale de Grésigne	158	Rabil (1992)

Les Carabidae présentent donc une diversité taxonomique et une abondance locales assez importantes.

Diversité écologique

Les Carabidae occupent la majorité des habitats forestiers ; certains sont inféodés aux forêts humides, d'autres aux talus et aux chemins forestiers. Certains sont liés à un micro-habitat particulier : souche, plaques de mousse, base des gros arbres…

La plupart sont terricoles, mais plusieurs groupes sont au moins partiellement arboricoles (la plupart des *Lebiinae*, certains *Platynini*, les Calosomes, *Carabus intricatus*…). Par leur lien à la température, à l'hygrométrie, à la lumière, leur phénologie annuelle (diapause estivale, reproduction au printemps ou à l'automne), ils présentent une spécificité d'habitat variable. Nocturnes ou diurnes, ailés, brachyptères ou aptères, leurs modes de vie sont très variés.

La plupart des espèces sont prédatrices (à des degrés de spécialisation variables à l'égard des proies : Collemboles, Annélides, Gastéropodes…), certains genres (*Amara*, *Harpalus*…) étant au moins partiellement granivores et phytophages.

I.2 - Intérêts

Les Carabidae (ou Carabiques) sont des Coléoptères variables en taille, des grands *Carabus* de 4 cm aux petits Tachyiini de quelques millimètres, qui présentent cependant un habitus assez homogène et facilement reconnaissable. Leurs pattes allongées leur permettent de courir activement à la surface du sol, quelques espèces (les Lebiinae notamment) grimpent sur la végétation et d'autres se déplacent au vol.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Les Coléoptères Carabidae sont largement utilisés, dans de nombreux écosystèmes des deux hémisphères, comme indicateurs de réponse (New, 1998 ; Rainio et Niemelä, 2003). Leur sensibilité à la gestion forestière, et notamment à la coupe, a été souvent étudiée (Niemelä, 1999).

Parmi les arthropodes épigés (Formicidae, Aranéides, Myriapodes…), l'étude des Carabidae est motivée par les éléments suivants :

- leur taxonomie et écologie relativement bien connues ;
- leur large distribution géographique ;
- un degré de spécialisation variable vis-à-vis de l'habitat, des généralistes-eurytopes aux spécialistes-sténotopes ;
- leur réponse reflet de celle d'autres groupes, notamment des araignées et des autres Coléoptères épigés (Rushton *et al.* 1989 ; Niemelä *et al*., 1996) ou d'autres Coléoptères (Scarabaeidae et Pselaphidae) (Oliver et Beattie, 1996). Cette présomption reste toutefois ambiguë ; en milieu agricole suisse, la diversité des Carabiques ne semble pas corrélée à celle d'autres groupes (Duelli et Obrist, 1998);
- leur rôle fonctionnel dans l'écosystème forestier (voir ci-dessous) ;
- leur échantillonnage au piège à fosse est éprouvé et fournit des effectifs importants (voir paragraphe « dispositif des pièges à fosse »).

Rôle fonctionnel dans l'écosystème forestier

Les Carabidae sont numériquement abondants dans la litière forestière. Dans l'étude du peuplement annuel au sol dans un taillis de châtaignier, Yon (1983) a dénombré 91 individus de Carabidae par m² soit 1.3% de l'effectif des Arthropodes épigés, alors que les Aranéides représentent 3.5% et les Chilopodes 8.6% de ce total. En biomasse, les trois groupes sont équivalents.
Majoritairement prédateurs, les Carabidae sont assimilés à des auxiliaires forestiers, actifs dans la régulation de phytophages ou de xylophages. Ils représentent un groupe trophique de niveau intermédiaire, proies de consommateurs tertiaires (Vertébrés insectivores) et consommateurs secondaires de petits Invertébrés, représentatifs à ce titre des maillons amont et aval du réseau.



Figure 8 : *Abax sp.* (dessin G. Goujon).

Ressources systématiques disponibles

La bibliographie concernant l'identification des espèces de Carabidae est assez fournie. Les faunes sont avantageusement complétées par des articles monographiques récents sur un genre ou un groupe d'espèces et rendent possible l'identification de la faune de France. L'identification fait le plus souvent appel à la morphologie externe ; dans certains groupes, l'extraction des organes reproducteurs mâle (édéage) et femelle (spermathèque) est toutefois déterminante.

Un complément d'actualisation de la faune de France de Jeannel (1941-1942) est en cours de rédaction par J. Coulon (com. pers.). Dans de nombreuses régions de France, les Carabidae ont fait

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

l'objet de contributions d'entomologistes amateurs. Dans la plupart des sociétés entomologiques régionales, se trouvent des entomologistes disposant de collections de référence pour ce groupe. Quelques experts nationaux existent et peuvent être contactés en dernier recours.

Piégeabilité

Les Carabidae, volants ou marcheurs, sont capturés en nombre au moyen de pièges d'interception et d'attraction, au sol (piège à fosse) ou aériens (piège-vitre et piège lumineux). La capture à vue dans les micro-habitats cibles est également efficace mais difficile à standardiser.
La phénologie des espèces est étalée sur l'ensemble de l'année.

I.3 - L'échantillonnage

Le piège à fosse est relativement efficace pour les Carabidae épigés marcheurs, mais les espèces à dispersion active au vol et peu marcheuses sont peu capturées. Pièges-vitres et pièges à fosse apportent des données complémentaires sur les assemblages de Carabidae et les pièges à fosse une représentation très partielle de la carabofaune circulante locale (cf. encart ci-dessous).

Encart 11 : Méthodes d'échantillonnage et assemblages de Carabiques.

A titre d'exemple, l'échantillonnage des Carabidae dans 3 forêts feuillues de Seine-et-Marne, avec 130 pièges à fosse et 62 pièges-vitres (2 à 4 pièges à fosse et 1 à 2 pièges-vitres par placette), relevés mensuellement d'avril à septembre, a fourni les données cumulées suivantes : 93 espèces au total, 35 (37.5%) dans les deux pièges, 35 (37.5%) dans les pièges-vitres seulement et 23 (25%) dans les pièges à fosse seulement. Les pièges lumineux capturent efficacement des espèces moins courantes au piège Barber (notamment des *Ophonus*, *Bradycellus*…).

Choix du piège à fosse et du liquide (cf. Tableau 15)

D'après notre expérience, nous conseillons l'utilisation de (cf. Chapitre 2, partie III.1) :

- pots cylindriques en polyéthylène de taille standard (modèle UNIPAK) (diamètre 85 mm, hauteur 110 mm) ;
- liquide Mono-Propylène-Glycol (MPG) 50% + 10% de sel (plutôt que Mono-Ethylène-Glycol (MEG) plus toxique et antigel MEG disponible dans le commerce de détail, mais trop dilué (25%).

Tableau 15 : Liquides de conservation/attraction des pièges à fosse et leurs contraintes en fonction des objectifs d'échantillonnage.

Objectif	Liquide	Périodicité du relevé	Contrainte de recyclage
Quantitatif (piège passif : interception aléatoire)	Saumure + détergent Eau + détergent	7-15 j. < 7 j.	Non
Quantitatif à Qualitatif ?	MPG (ou MEG) 50 % + détergent + sel MPG (ou MEG) 50 % + détergent Antigel moteur (MEG 25 %) + détergent + sel	30 j. 15 j. 15 j	Oui
Qualitatif (piège actif : attraction-répulsion)	Vinaigre Bière/Vin + détergent Bière/vin + détergent + sel Formol 5 à 8 %	7-15 j < 7 j. 7-15 j. 15 j.	Non oui

Nombre de pièges par placette

Le nombre de pièges minimal dépend de l'objectif et de l'hétérogénéité du milieu. L'Encart 12 fournit quelques exemples glanés dans la bibliographie.
Nous préconisons de disposer 6 pièges par site (1 site = 1 placette).
Ce chiffre, divisible par 2 ou 3, permet d'équilibrer le nombre de réplicats par modalités d'un sous-facteur variable sur un site, en 3 + 3 (ex. 6 pièges dans une parcelle, dont 3 à proximité d'une souche et 3 à distance d'une souche) ou 2 + 2 + 2 (à la différence de 5 qui n'est divisible que par lui-même).

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Encart 12 : Nombre de pièges et estimations de biodiversité.

Dans une parcelle forestière de 5 ha, Obrtel (1971) a montré que :

- 5 pièges (distants d'au moins 15 m) suffisent pour capturer la moitié des espèces piégées avec les 25 pièges à fosse initialement posés, dont les espèces dominantes ;
- 20 pièges sont nécessaires pour capturer 90 % de l'ensemble des espèces piégées avec ces 25 pièges ;
- 10 à 12 pièges suffisent pour estimer l'abondance des espèces.

En milieu forestier boréal, Niemelä *et al.* (1986) ont montré qu'un échantillonnage limité à 15 pièges distants de 2-3 m (non indépendants) donnait une richesse spécifique raréfiée très similaire à un piégeage basé sur un nombre double (30) ou triple de pièges (45).
Lors d'une étude de la richesse des Carabidae de 10 zones humides, Brose (2002) a calculé des estimateurs non paramétriques de la richesse et montré que le nombre d'échantillons pouvait être réduit à 5 pièges à fosse par site lors d'un programme d'échantillonnage minimal sans variation significative de la richesse estimée.
Dauffy-Richard (2007) a montré que 4 pièges à fosse par placette représentent un effort d'échantillonnage largement insuffisant dans les peuplements forestiers jeunes et ouverts.
Ces résultats sont cohérents avec une étude précédemment menée en milieu ouvert qui préconisait d'utiliser un strict minimum de 6 pièges pour mesurer la richesse d'une pâture (Desender et Pollet, 1998).

Agencement spatial des réplicats

Pour que le cumul des échantillons soit informatif, il est nécessaire que les réplicats-pièges soient indépendants. En effet, parmi des pièges trop proches, l'un souvent agrège la faune locale alors que les autres sont appauvris.

Encart 13 : Quelle distance entre pièges ?

Au delà d'un seuil de densité de pièges, on observe des interactions entre pièges et une perte d'efficacité par piège (Drach *et al.*, 1981). Des travaux comparatifs ont montré que l'on pouvait inférer cette indépendance à partir de 10 m (Scheller, 1984, Niemelä *et al.*, 1986), ou 15 m (Obrtel, 1971) voire 50 m (Digweed *et al.*, 1995). Les variogrammes de capture de Moore *et al.* (2002) suggèrent que les pièges espacés de 15 m ne sont pas indépendants. Nous avons comparé une distance inter-pièges de 14 ou 50 m (Bouget, 2001) et n'avons observé aucune différence d'interaction entre pièges.

Une distance inter-piège supérieure à 20 m semble raisonnable.
La disposition des pièges varie selon l'objectif :

- Disposition régulière :
  - grilles à maille carrée ou hexagonale (1 piège à chaque sommet)
  - transects linéaires (1 piège à intervalle constant sur une ligne)
  - groupes : un triangle, un carré ou un cercle de pièges par parcelle.
- Disposition irrégulière : les pièges sont placés à proximité d'éléments remarquables de l'environnement, considérés comme des micro-habitats privilégiés pour les insectes étudiés (souche, galette de chablis, base des gros arbres, taches de Bryophytes…).

Répétition temporelle

Un effet année ?

En raison des accidents climatiques et des cycles d'abondance des espèces, les années sont rarement semblables. Comme pour toute autre méthode ou assemblage faunistique, répéter sur plusieurs années permet de moyenner ces variations.

Encart 14 : Les variations annuelles chez les Carabiques.

De nombreuses études sur les Carabiques sont le fait d'une seule campagne annuelle. En cas de répétition une seconde année, les résultats sont souvent très corrélés entre micro-habitats (Antvogel et Bonn, 2001), ou entre types de forêts (Niemelä *et al.*, 1992).
Judas *et al.* (2002) ont montré que la distribution spatiale d'espèces forestières sur 4 ans ne changeait pas significativement sur la période considérée. Cependant, les variations interannuelles d'origine climatique ou biotique (dynamique cyclique des populations) sont illustrées par plusieurs travaux :

- dans des forêts canadiennes, certains Carabiques forestiers ont varié en abondance d'un facteur 2 à 8 en deux ans (Niemelä *et al.*, 1992) ;
- une population de *Carabus auronitens* dans une chênaie allemande a varié d'un facteur 2 à 19 sur une étude de six ans (Klenner, 1989).

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Programmation et simplification saisonnière
Rappelons que beaucoup de Carabidae ont un cycle avec diapause estivale et diapause hivernale, et qu'il existe des reproducteurs de printemps et des reproducteurs d'automne.
Selon l'objectif de l'inventaire et les moyens matériels, humains et financiers disponibles, il est possible d'opter pour l'un des deux types de piégeages ci-dessous :

- Le piégeage continu (year-catch)

Pour l'exhaustivité de l'inventaire, cette programmation est préférable : dans la mesure du possible, la campagne doit s'étendre d'avril à octobre (variable selon les régions), afin d'inclure la période d'activité de la majorité des espèces.

- Le piégeage discontinu et ciblé

Pour l'économie d'échantillons, il est possible de focaliser l'effort d'échantillonnage sur quelques périodes de l'année. On peut donc pratiquer des piégeages au printemps et en automne. Si l'on choisit une seule saison, le printemps (avril-juin) est à privilégier.
Cette procédure permet aux communautés locales de se régénérer par immigration entre les piégeages ; cependant on court le risque d'être calé sur des périodes climatiquement défavorables et d'être hors des pics d'activité difficilement prévisibles des insectes.

Durée de piégeage et périodicité des relevés, sont à réfléchir en fonction des difficultés de terrain, des capacités conservatrices du liquide et de la probabilité de perturbation du piège par l'homme ou les sangliers (voir l'exemple ci-dessous).
Lors de l'étude de l'évolution de l'abondance avec le temps, il faut avoir conscience que les variations observées peuvent être dues à la défaunation de la campagne précédente.

Encart 15 : Le piégeage ponctuel répété : quelques références.

Malgré les études de Niemelä *et al.* (1990) ou de Rümer et Mühlenberg (1988) par ex., le piégeage continu (*year-catch* ; Niemelä, 2000) a été préféré aux piégeages ponctuels répétés, très sensibles à la phénologie et à son décalage en fonction de la situation météorologique de l'année. L'efficacité des piégeages ponctuels répétés a été testée dans le cadre d'essais de programmes minimaux d'échantillonnage visant à réduire la durée globale de la campagne de piégeage. Avec 3 pièges par habitat (prairie et forêt) en mai et juin, Rümer et Mühlenberg (1988) ont capturé 60% des espèces attendues. Niemelä *et al.* (1990) ont comparé un piégeage continu à un piégeage à chaque extrémité de la saison d'activité sur 5 + 5, 10 + 10 ou 14 + 14 jours. Ils ont conclu que les espèces dominantes étaient échantillonnées avec suffisamment de précision avec le système 10 + 10 jours. La plupart des espèces non représentées dans ce programme ponctuel étaient rares dans le système continu (< 10 individus).

I.4 - Sur le terrain

Précautions de pose
Le choix du site est important : se rapprocher de micro-habitats importants, éviter les pentes et les cuvettes (et donc l'inondation du pot par ruissellement).

Pour la pose : creuser un trou cylindrique au moyen d'une tarière de pédologie ou d'un plantoir, enfoncer le pot et parfaire l'affleurement en maçonnant à la terre la continuité entre sol et bord du pot. Dans les sols durs, laisser un double pot percé à demeure dans le sol et y enfoncer le pot de piégeage permet de conserver le forage en état.

Cette pose induit un effet de perturbation initiale (Digweed *et al*., 1995) : cf. chap. 2, partie III-1 pour les préconisations et précautions d'emploi.

Protocole de récolte
(cf. aussi Chapitre 4)
Pour la récolte et le conditionnement des échantillons, nous proposons le protocole suivant :

- filtrage du piège à la passoire fine sur le terrain (et récupération du liquide usagé s'il s'agit d'un produit toxique) ;
- stockage du contenu à sec dans un sachet refermable à zip (type Mini-grip® de congélation) étiqueté au congélateur. L'étiquetage doit faire mention précise et durable (attention à la longévité de l'encre utilisée) de la date, de la station et du numéro de piège ;
- le liquide conservateur est renouvelé à chaque relevé.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Il est déconseillé d'effectuer un pré-tri du contenu du piège sur place, dans la mesure où les petites espèces peuvent être dissimulées dans les déchets ou engluées dans le mucus de limaces par exemple.

PROPOSITIONS INV.ENT.FOR.

	objectif 1 : qualitatif (inventaire faunistique)	Objectif 2 : comparatif
NOMBRE DE SITES	Sans objet	5 à 10 par modalité
NOMBRE DE PIEGES	6 par site	2 à 5 en fonction du nombre de sites
DISTANCE INTERPIEGES	20 m	20 m
PERIODE	Mars à octobre	Intensif : Mars à octobre Extensif : Avril-Mai et septembre
PERIODICITE	15 à 30 jours*	15 à 30 jours*
LIQUIDE CONSERVATEUR	*	*

*si possibilité de récupération du liquide après usage, utiliser le mélange MPG 50% + eau 50% + 10% de sel en masse ; périodicité des relevés : jusqu'à 30 jours ;
si recyclage impossible, utiliser une saumure saturée ou une solution à 4% de sulfate de cuivre : eau + 10% sel ; périodicité des relevés : 7-15 jours.

Encart 16 : Usuels de détermination pour les Coléoptères Carabiques.

COULON J., 2003. Les Bembidiina de la faune de France. Clés d'identification commentées (Coleoptera Carabidae Trechinae) (Première partie). Bull. mens. Soc. linn. Lyon, 72 (8) : 256-272.
COULON J., 2004. Les Bembidiina de la faune de France. Clés d'identification commentées (Coleoptera Carabidae Trechinae) (Deuxième partie). Bull. mens. Soc. linn. Lyon, 2004, 73 (4) : 163-180.
COULON J., 2004. Les Bembidiina de la faune de France. Clés d'identification commentées (Coleoptera Carabidae Trechinae) (Troisième partie). Bull. mens. Soc. linn. Lyon, 2004, 73 (8) : 305-325.
COULON J., 2005. Les Bembidiina de la faune de France. Clés d'identification commentées (Coléoptères Carabidae Trechinae) (quatrième et dernière partie). Bull. mens. Soc. linn. Lyon, 74 (3) : 103-120.
FOREL J. et LEPLAT J., 2001. Faune des Carabiques de France – I (Paussidae, Cicindelidae, Calosominae, Cychrinae, Omophroninae), 95 p., Magellanes, Andrésy.
FOREL J. et LEPLAT J., 2003. Faune des Carabiques de France – XI (Lebiinae, Dryptinae, Brachininae), 157 p., Magellanes, Andrésy.
FOREL J. et LEPLAT J., 2005. Faune des Carabiques de France X (Harpalidae, les Perigonidae, Anchonoderidae, Odacanthidae, Licinidae, Callistidae, Panagaeidae, Masoreidae), 134 p., Magellanes, Andrésy
FREUDE H., 1976. Carabidae (Laufkäfer). in Freude, H., Harde, K. W., et Lohse, G. A., eds. *Die Käfer Mitteleuropas : Adephaga 1*. 300 p. Goecke et Evers, Krefeld. (allemand, faune du nord)
HURKA K., 1996. *Carabidae of the Czech and Slovak Republics*. Ed. Kabourek, Zlin. 565 p. (anglais, faune du nord)
JEANNEL R., 1941. *Faune de France. Coléoptères Carabiques. 1ère partie*. Office central de Faunistique, Paris. pp 1-571 (incontournable, mais vieilli pour certains groupes)
JEANNEL R., 1942. *Faune de France Coléoptères Carabiques. Deuxième partie.* Office Central de Faunistique. pp 573-1173
LINDROTH C. H., 1974. *Handbooks for the identification of British insects. Coleoptera Carabidae*, London (anglais, faune du nord)
LOHSE G. A. et LUCHT W. H., 1989. *Die Käfer Mitteleuropas. Band 12, Supplementband 1 (*Carabidae 23-60*)*. Goecke et Evers, Krefeld. 346 p.
LUCHT W. H. et KLAUSNITZER B., 1998. *Die Käfer Mitteleuropas. Band 15, Supplementband 4 (*Carabidae 23-76*)*. Goecke et Evers, Krefeld. 400 p.
ORTUNO,V. M. et TORIBIO, M. 2005 Carabidae de la peninsula Iberica y Baleares, Vol.I Techinae-Bembidiini. Arganio editio, 470 p.
TRAUTNER J. et GEIGENMÜLLER K., 1987. *Tiger beetles, ground beetles - Illustrated key to the Cicindelidae and Carabidae of Europe*. 488 p. (incomplet, au genre seulement pour certains groupes).

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Références citées

Antvogel, H. et Bonn, A., 2001. Environmental parameters and microspatial distribution of insects : a case study of carabids in an alluvial forest. Ecography 24, 470-482.

Bouget, C., 2001. Echantillonnage des communautés de Coléoptères Carabiques en milieu forestier. Relation espèces-milieu et variations d'efficacité du piège à fosse. Symbioses Nouvelle série, 55-64.

Brose, U., 2002. Estimating species richness of pitfall catches by non-parametric estimators. Pedobiologia 46, 101-107.

Dauffy-Richard, E. et Archaux, F., 2007. *Méthodes d'échantillonnage des Coléoptères Carabiques : biais inter-habitats et nombre minimal d'unités d'échantillonnage pour estimer la richesse spécifique*. Rapport de convention d'appui technique ONF, Nogent-surVernisson: Cemagref.

Desender, K. et Pollet, M., 1988. Sampling pasture carabids with pitfalls : evaluation of species richness and precision. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent 53, 1109-1117.

Digweed, S. C., Currie, C. R., Carcamo, H. A. et Spence, J. R., 1995. Digging out the "digging-in effect" of pitfall traps: Influences of depletion and disturbance on catches of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). Pedobiologia 39, 561-576.

Drach, A., Benest, G. et da Fonseca, J. P. C., 1981. Analyse comparative de différents types de pièges basée sur l'étude de deux peuplements de Carabiques. Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol 18, 91-114.

Duelli, P. et Obrist, M.K., 1998. In search of the best correlates for local organismal biodiversity in cultivated areas. Biodiversity and Conservation 7, 297-309.

Judas, M., Dornieden, K. et Strothmann, U., 2002. Distribution patterns of carabidae beetle species at the landscape level. Journal of biography, 29, 491-508.

Klenner, M., 1989. Überlebenstrategien einer stenotopen Waldart : Untersuchungen zur Dynalik einer westfälischen Carabus auronitens Population (Coleoptera, Carabidae). Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie 18, 781-791.

Lövei, G. L. et Sunderland, K. D., 1996. Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). Annual Review of Entomology 41, 231-256.

Minelli, A., Ruffo, S. et La Posta, S., 1995. Checklist delle specie della fauna italiana - Coleoptera. Calderini.

Moore, J.-D., Ouimet, R., Camire, C. et Houle, D., 2002. Effects of two silvicultural practices on soil fauna abundance in a northern hardwood forest, Quebec, Canada. Canadian Journal of Soil Science 82, 105-113.

New, T., 1998. The role of ground beetles (Coleoptera, carabidae) in monitoring programmes in Australia. Ann. Zool. Fennici 35, 163-171.

Niemelä, J., 1999. Management in relation to disturbance in the boreal forest. Forest Ecology and Management 115, 127-134.

Niemelä, J., 2000. Biodiversity monitoring for decision making. Annales Zoologici Fennici, 37, 307-317.

Niemelä, J., Haila, Y. et Punttila, P., 1996. The importance of small-scale heterogeneity in boreal forests : variation in diversity in forest-floor invertebrates across the succession gradient. Ecography 19, 352-368.

Niemelä, J., Halme, E. et Haila, Y., 1990. Balancing sampling effort in pitfall trapping of carabid beetles. Entomologica Fennica 1, 233-238.

Niemelä, J., Halme, E., Pajunen, T. et Haila, Y., 1986. Sampling spiders and carabid beetles with pitfall traps : the effect of increased sampling effort. Annales Entomologici Fennici 52, 109-111.

Niemelä, J., Spence, J. R. et Spence, D. H., 1992. Habitat associations and seasonal activity of ground-beetles (Coleoptera, Carabidae) in central Alberta. Canadian Entomologist 124, 521-540.

Obrtel, R., 1971. Number of pitfall traps in relation to the structure of the catch of soil surface Coleoptera. Acta Entomologica Bohemoslov. 68, 300-309

Oliver, I. et Beattie, A.J., 1996. Designing a cost-effective invertebrate survey : A test of methods for rapid assessment of biodiversity. Ecological Applications 6, 594-607.

Rabil, J., 1992. Ah ! cette Grésigne ! Catalogue des coléoptères de la forêt de Grésigne (Tarn). Nouvelles Archives du Museum d'Histoire Naturelle de Lyon, 174 p.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Rainio, J. et Niemelä, J., 2003. Ground beetles (Coleoptera : Carabidae) as bioindicators. Biodiversity and conservation 12, 487-506.

Rümer, H. et Mühlenberg, M., 1988. Kritische Überprüfung von `Minimalprogrammen' zur zoologischen Bestandserfassung. Schriftenreihe Bayer. Landesamt für Umweltschutz 83, 151-157.

Rushton, S.P., Luff, M.L. et Eyre, M.D., 1989. The effects of pasture improvement and management on the ground beetle and spider communities in upland pastures. Journal of Applied Ecology 26, 489-503.

Scheller, H. V., 1984. Pitfall trapping as the basis for studying ground beetle (Carabidae) predation in spring barley. Tidsskr. Planteavl 88, 317-324.

Yon, D., 1983. Recherches sur un peuplement d'Arthropodes, de vers et de mollusques d'un taillis de châtaignier de la région parisienne. Thèse de 3ème cycle. Université Paris VI, Paris. p.

Pour en savoir plus

Quelques sites sur les Coléoptères Carabiques :

- Galerie photographique de *Carabus*
  - http://volny.cz/midge/carabus/carabus.htm
- Société allemande de carabidologie appliquée (Gesellschaft für angewandte Carabidologie)
  - http://www.carabidae.de/ ou http://www.laufkaefer.de/
- Coléoptères Carabidae d'Alsace
  - http://claude.schott.free.fr/Carabidae/Carabus/Carabidae-liste-planches.html
- Ground beetles of Ireland
  - http://www.habitas.org.uk/groundbeetles/
- Clé illustrée des Carabidae d'Allemagne, conçue par Arved Lompe (en allemand)
  - http://coleo-net.de/coleo/texte/carabidae.htm

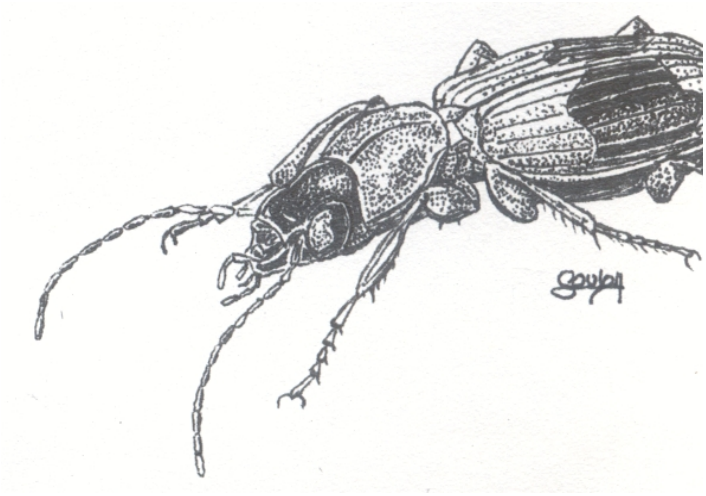


Figure 9 : *Badister sp*. (dessin G. Goujon).

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref