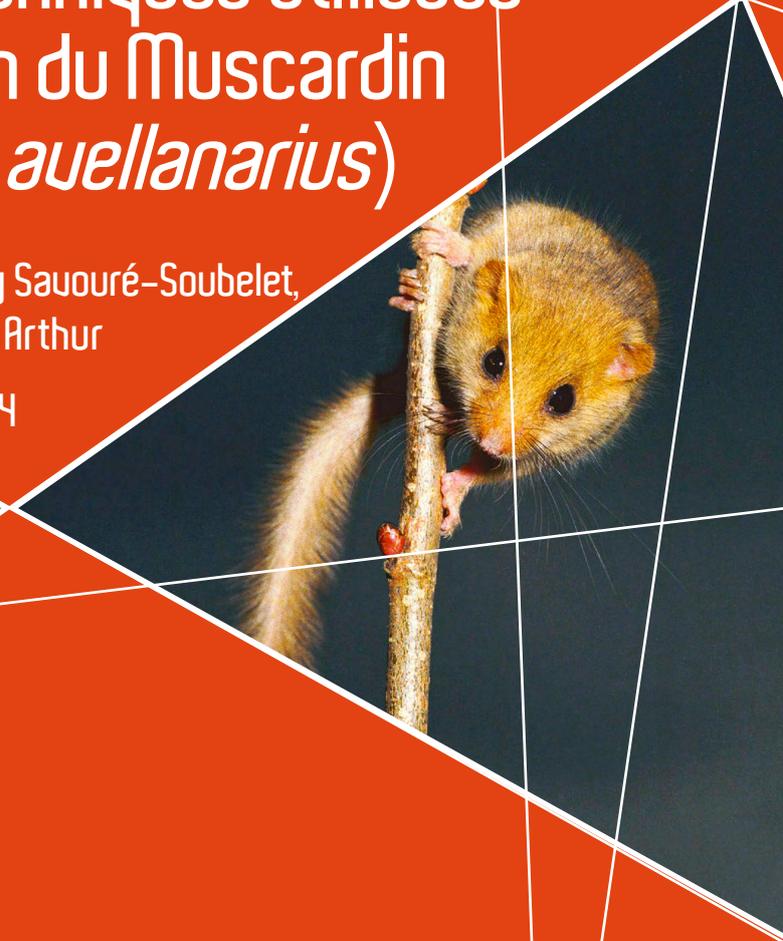
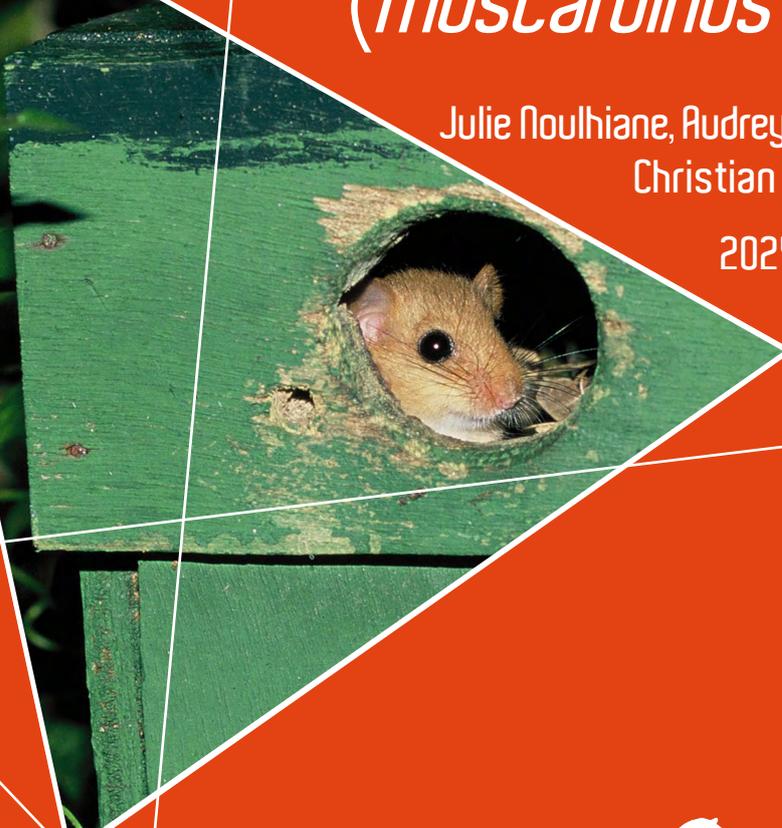




Synthèse bibliographique
des différentes techniques utilisées
pour la détection du Muscardin
(*Muscardinus auellanarius*)

Julie Noulhiane, Audrey Savouré-Soubelet,
Christian Arthur

2024



SOCIÉTÉ FRANÇAISE POUR L'ÉTUDE
ET LA PROTECTION DES MAMMIFÈRES

Synthèse bibliographique des différentes techniques utilisées pour la détection du muscardin (*Muscardinus avellanarius*)



Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères
19 allée René Ménard – 18000 Bourges
Tel : 02 48 70 40 03
contact@sfepm.org
www.sfepm.org

Coordination : Julie Noulhiane, Audrey Savouré-Soubelet & Christian Arthur

Publication : Février 2024

Contact : audrey.savoure-soubelet@sfepm.org / contact@sfepm.org

Photographies de la 1^{ère} de couverture : Muscardin *Muscardinus avellanarius* © Christian Labeaune, Nichoirs © Georges Abadie, Passive recorder © Christian Arthur

Citation recommandée : Noulhiane J., Savouré-Soubelet A. & Arthur C. (2024) – *Synthèse bibliographique des différentes techniques utilisées pour la détection du muscardin* (*Muscardinus avellanarius*). Rapport 2024-2. SFEPM, Bourges, 28 pages.

I. Table des matières

I.	Table des matières	2
II.	Contexte	3
III.	Observation d'indices de présence sans l'aide de dispositifs.....	4
A.	La recherche des noisettes consommées par l'espèce.....	4
i.	Le principe	4
ii.	Le retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFEPM	5
iii.	Synthèse des forces et faiblesses de cette technique	5
B.	La recherche des nids	6
i.	Le principe	6
ii.	Le retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFEPM	7
iii.	Synthèse des forces et faiblesses de cette technique	7
C.	L'analyse des pelotes de réjection	7
i.	Le principe	7
ii.	Le retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFEPM	8
iii.	Synthèse des forces et faiblesses de cette technique	8
IV.	Observation d'indices de présence avec l'aide de dispositifs.....	9
A.	Les tunnels à empreintes.....	9
i.	Le principe	9
ii.	Le retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFEPM	10
iii.	Synthèse des forces et faiblesses de cette technique	10
B.	Les tunnels à poils.....	11
i.	Le principe	11
ii.	Le retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFEPM	12
iii.	Synthèse des forces et faiblesses de cette technique	13
C.	Les enregistreurs acoustiques	14
i.	Le principe	14
ii.	Retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFEPM	15
iii.	Synthèse des forces et faiblesses de cette technique	16
D.	La récolte d'urine	17
i.	Le principe	17
ii.	Le retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFEPM	17
iii.	Synthèse des forces et faiblesses de cette technique	17
V.	Observation directe d'un individu avec l'aide de dispositifs.	18
A.	La caméra thermique.....	18
i.	Le principe	18
ii.	Retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFEPM	18
iii.	Synthèse des forces et faiblesses de cette technique	19
B.	Les nichoirs ou tubes nichoirs.....	20
i.	Le principe	20
ii.	Le retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFEPM	21
iii.	Synthèse des forces et faiblesses de cette technique	21
VI.	Observation indirecte d'un individu avec l'aide de dispositifs.....	22
A.	Les appareils photographiques automatiques	22
i.	Le principe	22
ii.	Retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFEPM	22
iii.	Synthèse des forces et faiblesses de cette technique	23
VII.	Tableau récapitulatif des différentes techniques de détection de présence du muscardin (<i>Muscardinus avellanarius</i>)	25
VIII.	Remerciements.....	26
IX.	Bibliographie.....	26

II. Contexte

Le muscardin (*Muscardinus avellanarius*) est une espèce protégée en France (arrêté du 23 avril 2007 ; article 2), inscrite à l'annexe IV de la Directive Habitats-Faune-Flore et classée LC dans les listes rouges Monde, Europe et France mais NT dans les listes rouges régionales de Bretagne, Bourgogne, Normandie et Picardie et VU en Pays-de-la-Loire. L'espèce est aussi espèce déterminante ZNIEFF dans 11 (sur les 13) régions françaises.

Néanmoins, en France, l'aire de répartition actuelle du muscardin présente des lacunes importantes à cause d'une faible prise en compte de l'espèce par les naturalistes et associations, due notamment à un manque de connaissance de l'espèce et à sa discrétion. De ce fait, elle est peu intégrée dans les politiques publiques (trame verte, stratégie aires protégées ...) et n'apparaît quasiment jamais dans les études d'impact pour les demandes de dérogation espèces protégées ou dans les études d'incidence Natura 2000. Pour combler ces lacunes, il est apparu essentiel de développer un protocole national (plan d'échantillonnage et technique de détection), et, pour ce faire, de tester et comparer plusieurs technique(s) non-invasive(s) permettant de détecter, de façon relativement fiable, la présence de l'espèce.

La présente synthèse recense, à partir de la bibliographie, les techniques actuelles employées pour repérer le muscardin, en exposant leurs avantages et inconvénients, depuis la simple recherche d'indices de présence jusqu'à l'utilisation de techniques plus élaborés (cf. synthèse dans le tableau 1 en fin de document). Pour certaines techniques, un retour d'expérience est rédigé et présente les résultats obtenus dans le cadre d'un stage coordonné en 2023 par la SFEPM, en collaboration avec la SHNA. Lors de ce stage, plusieurs techniques ont été testées durant trois semaines sur trois sites en Bourgogne (sites sur lesquels la présence du muscardin était certifiée) (Noulhiane *et al.* in press).

Les techniques sont classées suivant le type d'observation réalisé (indice de présence vs observation directe ou indirecte) et l'utilisation ou non d'un dispositif. Les forces et faiblesses de chaque technique ont été analysées sur la base des critères suivants :

- **Spécificité** : ce critère renseigne si la technique permet d'obtenir des informations uniquement sur l'espèce visée, ou bien si d'autres espèces peuvent être détectées en même temps. La mise en place d'une technique peu spécifique entraîne un examen ou conduit à une analyse des données plus approfondie pour obtenir une réponse certaine car il faut différencier les indices de l'espèce cible (même s'ils fournissent une réponse fiable et sont faciles à lire) de ceux des autres espèces.
- **Fiabilité de la détermination** : ce critère précise si l'identification de l'observation réalisée peut être considérée comme fiable sans ambiguïté ni doute ou s'il existe un risque de confusion avec une autre espèce.
- **Coût de la technique** : ce critère informe sur le coût engendré par l'usage de la technique, en termes de matériel de terrain ou d'analyse (achat) et aussi en termes d'investissement humain (pour la mise en place, la récolte des données et leur analyse).
- **Délai d'obtention d'un résultat** : ce critère notifie si le résultat (présence certaine de l'espèce) est obtenu immédiatement ou s'il nécessite des analyses ultérieures.
- **Efficacité de la technique** : ce critère prend en compte la rentabilité de la technique, mesurée par le ratio coût (achat du matériel, réalisation d'analyses / investissement humain) et l'efficacité de cette technique.
- **Probabilité de détection** : ce critère indique la probabilité que la technique permette de détecter l'espèce visée dans un site où sa présence est certaine. Ce critère est ici défini pour certaines techniques sur la base de l'expérience acquise par la SFEPM sur trois sites avec une présence certaine du muscardin. Une probabilité de 0 signifie que, même si l'espèce est présente, elle ne

sera pas détectée, tandis qu'une probabilité de 1 signifie que l'espèce (avec un investissement minimum) sera à coup sûr détectée.

- **Invasivité de la technique vis-à-vis de l'espèce cible** : ce critère notifie si la technique induit des perturbations, dérangements, modifications dans le comportement de l'espèce (modifications du cycle d'activité, modifications de l'utilisation de l'espace, modifications de sa physiologie...) ou si elle présente des risques physiques pour les individus de l'espèce visée. Il a volontairement été choisi de ne pas présenter ici des techniques à forte invasivité telles que, notamment, la capture d'individu.
- **Dommmages collatéraux potentiels sur des espèces non-cibles** : idem que le critère précédent mais pour les autres espèces ne faisant pas l'objet de l'étude.

III. Observation d'indices de présence sans l'aide de dispositifs.

A. La recherche des noisettes consommées par l'espèce

i. Le principe

Avant d'entrer en hibernation, le muscardin se constitue un stock de graisses en se nourrissant essentiellement de noisettes (Bright & Morris 1990). Identifier la présence de cette espèce peut alors être réalisé de manière efficace en recherchant des noisettes grignotées par le muscardin, car il a tendance à les ouvrir d'une manière particulière et spécifique. En effet, les noisettes qu'il a consommées présentent un trou rond et régulier dont les bords internes paraissent lisses et sans traces de dents. Des traces sont en revanche visibles sur la partie externe. Vu de profil, le trou créé est souvent rectiligne (Bright *et al.* 2006). Les noisettes rongées par des mulots ou des campagnols présentent quant à elles un trou irrégulier marqué de nombreuses traces de dents perpendiculaires et un profil concave (Rolland & Caroff 2017) (Illustration 1).



Illustration 1 : Noisette rongée par un muscardin ou par un mulot © Audrey Savouré-Soubelet

Cette technique peut être appliquée tout au long de l'année, mais elle est plus efficace à l'automne, pendant la saison de fructification des noisettes, avant qu'elles ne se désagrègent ou qu'elles ne s'enfouissent dans la végétation. Sa simplicité en fait un outil largement utilisé par de nombreux naturalistes, tant au Danemark (Vilhelmsen 2003), en Belgique (Verbeylen 2006), en Angleterre (Moffatt 2017), en Pologne (Gruszczynska *et al.* 2018), qu'en France (Ménage 2019). De nombreuses associations de protection de la nature l'utilisent : Groupe mammalogique breton, Groupe mammalogique d'Auvergne, Groupe mammalogique normand, Groupe d'Etudes et Protection des Mammifères d'Alsace et Groupe Mammalogique et Herpétologique du Limousin. Largement valorisée par ces associations, elle est aussi utilisée dans le cadre de projets de sciences participatives (Resch & Blatt 2017, INPN Espèces).

L'avantage majeur de cette technique réside dans le fait qu'elle ne nécessite aucun équipement particulier, ce qui la rend accessible à tout un chacun. En outre, les données récoltées peuvent être validées par des experts soit à partir des échantillons relevés, soit à partir de photographies des noisettes rongées.

Cependant, il convient de noter que cette technique n'est applicable que dans les environnements où des noisetiers sont présents, mûrs et productifs (Bellicaud & Pagès 2013).

Cette technique peut s'appliquer aussi sur des noyaux de merises, de prunelles ou sur les akènes des charmes mais l'identification du muscardin nécessite plus d'expérience (Rolland, comm. pers.).

ii. *Le retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFPEM*

Sur les trois sites étudiés en 2023 en Bourgogne, au moins une noisette rongée par le muscardin a été collectée. Cependant, c'est cette technique qui avait permis à la SHNA d'affirmer la présence de l'espèce sur les trois sites étudiés, il semble donc logique qu'elle soit efficace à ces endroits.

Son principal avantage est le faible coût associé à son utilisation : aucun matériel n'est nécessaire et seulement trois heures suffisent pour prospecter une ligne de transect de 200 m sur un site (le sol a été fouillé pendant 15-20 minutes maximum pour chacune des 11 stations du transect). Sa principale faiblesse tient à ce qu'elle est indirectement liée à la fructification des noisetiers, son efficacité dépendant fortement de la variabilité de leur production de noisettes (nombre de plants, âge des arbustes, variabilité de la production de noisettes en fonction de la météorologie printanière et estivale...). De plus, en cas de densité importante de la strate herbacée (graminées, fougères, ronces...), la recherche de noisettes peut être plus ou moins compliquée, voire infructueuse.

En conséquence, la technique de repérage des noisettes rongées par le muscardin peut être utilisée seule dans les sites avec des noisetiers abondants et productifs, mais devrait être complétée par une autre technique afin d'éviter de limiter les recherches aux seuls environnements où les noisetiers sont présents.

iii. *Synthèse des forces et faiblesses de cette technique*

Caractéristiques principales	
Spécificité	Le nombre d'espèces pouvant ronger les noisettes comme le muscardin est faible (mulots <i>Apodemus spp.</i> , campagnol roussâtre <i>Clethrionomys glareolus</i>).
Fiabilité de la détermination	Forte. Une noisette rongée par le muscardin ne peut quasiment pas être attribuée à une autre espèce (faible probabilité de mauvaise identification et validation possible par une tierce personne à partir de photographies).
Coût de la technique	Faible. Elle ne nécessite aucun achat de matériel, seulement un investissement humain (une demi-journée pour prospecter un site).
Délai d'obtention d'un résultat	Immédiat. Résultat positif / négatif obtenu sur le site immédiatement.
Efficacité de la technique	Dans les endroits où se trouvent à la fois des noisetiers productifs et des muscardins, il est très probable que les muscardins se nourrissent de noisettes. Mais, cette technique ne semble fonctionner que dans des milieux où les noisetiers sont présents, mûrs et productifs (Bellicaud & Pagès 2013) et le rendement est variable selon les années. Son utilisation est de ce fait limitée.
Probabilité de détection	L'absence de la détection de noisettes ne constitue en aucune façon une preuve formelle de l'absence du muscardin, même dans des milieux avec noisetiers.

Dérangement de la technique vis-à-vis de l'espèce	Aucune. Aucun stress, aucune lésion ou perturbation n'est infligée à l'espèce.
Dommages collatéraux potentiels sur des espèces non-cibles	Aucun. La technique peut permettre même d'identifier la présence d'autres espèces (mulots, rats).

B. La recherche des nids

i. Le principe

Le muscardin utilise deux types distincts de nids : un nid d'été, posé sur une branche, et un nid d'hiver, construit au sol. Les nids d'été mesurent de 6 à 15 cm et sont généralement établis dans des endroits tels que des buissons dotés de ronciers, de pruneliers ou même de houx (Wolton 2009), ou encore dans les cavités des arbres (Sirugue 1995). Ils sont placés en hauteur : de 40 cm à plusieurs mètres (Rolland & Caroff 2017). La composition des nids d'été varie en fonction des régions et des pays (Hansen *et al.* 2023), cependant, ils ont tendance à contenir principalement des feuilles de hêtre, de l'herbe et de l'écorce (Hansen *et al.* 2023), contrairement au nid du rat des moissons (*Micromys minutus*) qui est composé uniquement de feuilles de graminées (illustration 2). Par ailleurs, le nid du rat des moissons est fixé à son support (et même entrelacé avec), ce qui permet une distinction spécifique car il est difficile à détacher de son support (contrairement à celui du muscardin) et se trouve le plus souvent à moins de 50 cm du sol (Rolland & Caroff 2017). Le nid d'hiver se trouve généralement "caché" dans la litière, sous une souche ou une écorce (Sirugue 1995). Pouvant être occupé par un individu en train d'hiberner, sa recherche est fortement déconseillée en hiver.

La quête de ces nids s'effectue le plus souvent en automne, car ils deviennent plus visibles lorsque les feuilles des arbres tombent (Wolton 2009).



Illustration 2. a) Nid de muscardin © Christian Arthur, b) Nid de rat des moissons © Fabrice Darinot

La recherche de nids est une technique peu courante, utilisée seulement dans quelques pays, comme la Suède (Berg & Berg 1998), la Lituanie (Juškaitis & Remeisis 2007), l'Angleterre (Wolton 2009) ou encore l'Allemagne (Ehlers 2012). Après de nombreuses discussions avec diverses associations naturalistes en France, il est largement constaté que les nids de muscardins sont rares à observer, à l'exception de ceux installés dans des nichoirs ou des tubes nichoirs.

Jusqu'à présent, la littérature ne fournit pas de données chiffrées concernant l'efficacité de cette technique.

La recherche de nids est une tâche chronophage et souvent peu fructueuse, même lorsque la présence de muscardin est confirmée, car cette espèce privilégie souvent d'autres endroits, comme les cavités des troncs d'arbres, plutôt que la construction de ses propres nids. Par conséquent, l'absence de nids tissés ne peut en aucun cas être interprétée comme une preuve de l'absence du muscardin sur un site (Bright *et al.* 2006).

ii. *Le retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFPEM*

Cette technique n'a pas été mise en œuvre dans le cadre de l'étude de la SFPEM.

iii. *Synthèse des forces et faiblesses de cette technique*

Caractéristiques principales	
Spécificité	Seul le muscardin, le rat des moissons et le lérot construisent ce type de nid.
Fiabilité de la détermination	Moyenne. Un nid en bon état ne peut quasiment pas être confondu avec celui d'une autre espèce.
Coût de la technique	Faible. Cette technique ne nécessite aucun achat de matériel, seulement du temps humain. En revanche, elle peut se révéler chronophage, notamment dans le cas de milieux arbustifs dans lesquels la circulation est difficile.
Délai d'obtention de résultats	Immédiat. L'identification se fait rapidement sur le terrain par simple observation.
Efficience de la technique	Même si elle ne nécessite aucun investissement matériel, la recherche des nids, en raison de leur grande difficulté à être localisés, s'avère extrêmement chronophage. Tous les nids ne peuvent pas être identifiés en fonction de leur état de conservation, et certains environnements ne sont pas propices à la prospection des nids.
Probabilité de détection	L'absence de la détection de nids ne constitue en aucune façon une preuve de l'absence du muscardin.
Dérangement de la technique vis-à-vis de l'espèce	Moyenne. S'il n'y a pas de manipulation des individus, la circulation de l'observateur dans le milieu à l'approche du nid peut induire une perturbation des individus au nid (si présents) et trouble de fait leur quiétude. Elle engendre quasi inévitablement une détérioration, même partielle, du milieu. Il est aussi possible, malheureusement et involontairement, qu'une destruction de nids ait lieu, ces derniers étant dissimulés au sein de la végétation.
Dommages collatéraux potentiels sur espèces non-cibles	Des nids d'autres espèces (rat des moissons, lérot <i>Eliomys quercinus</i> , oiseaux ...) peuvent aussi être dégradés et la prospection du milieu entraîne de fait une perturbation des individus des autres espèces.

C. *L'analyse des pelotes de réjection*

i. *Le principe*

La recherche d'ossements de muscardin au sein des pelotes de réjection de rapaces, notamment nocturnes, constitue une autre approche pour établir la présence de cette espèce dans un environnement donné. Cependant, il convient de noter qu'il y a une surreprésentation d'Arvicolinae dans ces pelotes, ce qui signifie que les ossements de muscardin sont relativement rares (Resch & Blatt 2017), du fait d'une part de leur faible abondance en général, et d'autre part de la sélection de leur habitat, les muscardins vivant le plus souvent à l'abri sous une végétation dense, ce qui complique leur capture par les rapaces (Rolland & Caroff 2017).

L'utilisation de cette technique implique un investissement important en termes de temps, à la fois pour la recherche des pelotes et leur analyse (décorticage/nettoyage des pelotes et identification à la loupe binoculaire des restes) (Resch & Blatt 2017).

Il est important de souligner que, hormis les références ci-dessus, aucune autre recherche exploitant cette approche pour repérer la présence du muscardin sur un site n'a été trouvée. Sous documenté jusqu'à présent, la littérature ne fournit pas de données chiffrées concernant l'efficacité de cette technique. En outre, son efficacité repose sur la présence de rapaces qui se nourrissent du muscardin. Ces derniers sont le plus souvent forestiers (Chouette hulotte, Hibou moyen-duc, Chouette chevêchette) et leurs pelotes sont difficiles à trouver. La Chouette effraie peut consommer du muscardin, mais ce n'est pas la proie la plus aisée à capturer pour elle car ce rongeur, vivant dans les haies, est plus difficile à capturer !

ii. Le retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFPEM

Cette technique n'a pas été mise en œuvre dans le cadre de l'étude de la SFPEM.

iii. Synthèse des forces et faiblesses de cette technique

Caractéristiques principales	
Spécificité	Cette technique concerne l'ensemble des petits mammifères.
Fiabilité de la détermination	Forte. L'identification des crânes de muscardin nécessite certaines compétences.
Coût de la technique	Moyen. Cette technique demande un certain investissement matériel (binoculaire) et aussi humain (récolte, déterminations).
Délai d'obtention de résultats	Différé. Étant donné que l'identification ne peut être réalisée directement sur le terrain, les résultats ne sont pas instantanés. De plus, en raison de la nécessité de consacrer du temps à l'identification, certaines structures conservent les échantillons pour une analyse ultérieure. Il arrive donc parfois que la confirmation de la présence de l'espèce ne soit pas immédiatement disponible. Par conséquent les données liées à cette technique ne sont généralement pas récentes.
Efficacité de la technique	Les muscardins n'étant pas la ressource alimentaire principale des rapaces, la présence de leur crâne dans les pelotes est donc rare. L'efficacité de cette technique de détection pour cette espèce est donc extrêmement limitée. De plus, les données basées sur la présence d'ossements de muscardin ne sont pas géographiquement précises, car, par exemple, la chouette effraie chasse dans un rayon moyen de 2,5 km autour de son site de nidification. Ainsi, la découverte d'un crâne de muscardin dans une pelote de réjection peut indiquer la présence de l'espèce dans un rayon assez étendu de 2,5 km (Taberlet 1983) (c'est-à-dire 1/5 ^e d'une maille 10*10 km).
Probabilité de détection	Faible. L'absence de l'espèce dans les pelotes n'a aucune signification du fait de la faible probabilité de capture de l'espèce par les rapaces nocturnes. Tout au plus peut-on suspecter, en cas de bonne représentation du muscardin dans les pelotes, que l'abondance de l'espèce sur le site doit être notable.
Dérangement de la technique vis-à-vis de l'espèce	Aucune.
Domages collatéraux potentiels sur espèces non-cibles	Absence de dommages collatéraux.

IV. Observation d'indices de présence avec l'aide de dispositifs.

A. Les tunnels à empreintes

i. Le principe

Cette technique est largement employée pour la détection du muscardin, notamment en République tchèque (Keller 2023), en Italie (Melcore *et al.* 2020) et au Royaume-Uni (Mills *et al.* 2016). Certaines associations françaises, telles que le Groupe mammalogique breton, ont aussi expérimenté cette technique mais sans parvenir à obtenir des résultats significatifs.

Les tunnels à empreintes peuvent être fabriqués de manière relativement simple, certains utilisant même des briques de lait (Al-Fulaij *et al.* 2016), ou directement achetés sur des sites spécifiques. Ils se présentent généralement sous une forme rectangulaire avec une planchette en bois à l'intérieur, sur laquelle l'encre et les bandes de papier destinées à recevoir les empreintes sont disposées. Ces tunnels sont positionnés sous une branche à minima à 1,5 mètre au-dessus du sol (Melcore *et al.* 2020). Cette hauteur permet de les placer facilement, sans matériel ad hoc (escabeau, échelle), mais une hauteur plus importante permettrait sans doute de moins attirer les autres rongeurs (mulots notamment) (Mélanie Marteau *com. pers.*). L'encre (huile végétale et pigment naturel) ainsi que les bandes de papier doivent être renouvelées au moins tous les 10 jours (Melcore *et al.* 2020). Pour augmenter les chances d'attirer le muscardin, un appât (beurre de cacahuète par exemple) peut être posé au centre du tunnel sur un morceau de ruban adhésif (Noulhiane *et al.* in press) (Illustration 3).

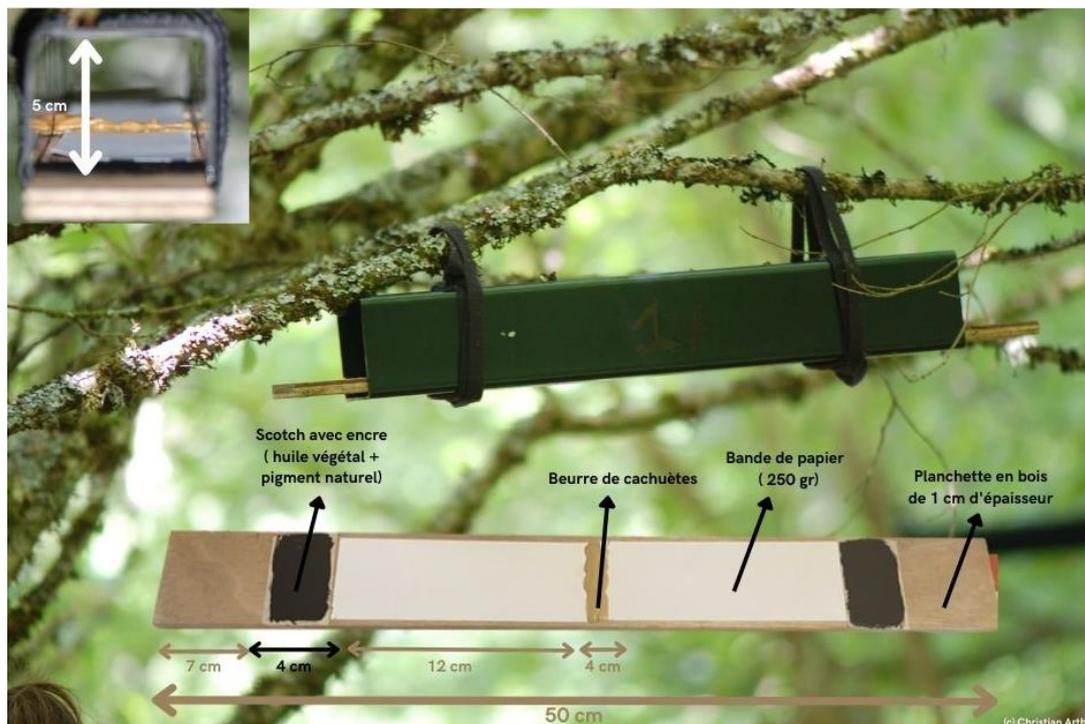


Illustration 3 : Schéma d'un tunnel à empreintes © Christian Arthur et Julie Noulhiane

Dans les différents articles scientifiques, il est dit que les tunnels peuvent être espacés les uns des autres de 15 à 20 mètres, en en disposant un nombre conséquent, idéalement une trentaine de tunnels, le long d'une ligne de transect. Le temps de prospection évolue en fonction du nombre de tunnels utilisés. Bouillon & Looser (2019) préconisent d'installer les tunnels deux semaines avant le début de l'enquête, en raison de la réticence que peuvent avoir les petits mammifères face à un nouvel objet dans leur environnement.

Les empreintes du muscardin sont facilement reconnaissables (pelotes en forme de triangles inversés, disposées en rosette, Marchesi *et al.* 2008), ce qui rend l'identification des empreintes très rapide (Bouillon & Looser 2019). De plus, cette technique présente l'avantage d'être économique (Resch & Blatt 2017). Cependant, dans ce type de dispositif, du fait de la fréquentation de ces dispositifs par d'autres espèces et notamment les mulots *sp.*, il existe une sur-représentation des espèces communes, ce qui peut entraîner un chevauchement des empreintes et donc une mauvaise lisibilité (Resch & Blatt 2017). La pose des tunnels à une hauteur plus importante pourrait limiter ce problème. L'efficacité de cette technique peut également être compromise par la pluie, c'est pourquoi certains choisissent d'ajouter une bâche autour du tunnel (Mills *et al.* 2016). Leur efficacité semble être importante : selon Melcore *et al.* (2020), les probabilités d'occupation du muscardin sur un site sont plus élevées en utilisant les tunnels à empreintes ($\psi = 0.68 \pm 0.09$) qu'en utilisant les nichoirs ($\psi(FT)=0.20 \pm 0.08$) ou les tubes nichoirs ($\psi=0.28 \pm 0.09$).

ii. Le retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFPEM

Sur les trois sites étudiés en 2023 en Bourgogne, l'efficacité des tunnels à empreintes s'est révélée relativement faible et présentait des variations importantes d'un site à l'autre. En effet, sur le premier et le troisième site, moins de 10 % des tunnels à empreintes ont montré des résultats positifs quant à la présence du muscardin, tandis que, sur le deuxième site, ce chiffre a atteint 43 % (Noulhiane *et al.* in press). Ces fluctuations d'efficacité pourraient être dues à des problèmes liés aux conditions météorologiques, tels que la formation de moisissures sur le papier et les appâts en raison de la pluie, ou encore à une fréquentation excessive par des espèces communes comme le mulot, rendant les empreintes illisibles (Noulhiane *et al.* in press). Étant donné que le muscardin a été observé à une hauteur de 7 à 8 mètres dans divers environnements, il serait intéressant de poser les tunnels à empreintes au-delà de 1,5 mètre de haut afin de limiter la présence de mulots. Comparativement à d'autres techniques, aucune différence significative entre les tunnels à empreintes et les appareils photographiques automatiques n'a été relevée sur les trois sites étudiés, et, lors de l'étude réalisée par la SFPEM (Noulhiane *et al.* in press), des résultats ont été obtenus dès la première semaine de pose pour 28 % des tunnels (n=44).

Néanmoins, si cette technique peut détecter le muscardin, y compris à un faible taux de présence de l'espèce, elle entraîne des coûts matériels et humains significatifs (45 heures en moyenne pour 3 semaines de pose de 44 tunnels à empreintes sur un site) (Noulhiane *et al.* in press), ce qui limite fortement son efficacité et son usage.

iii. Synthèse des forces et faiblesses de cette technique

Caractéristiques principales	
Spécificité	Cette technique, non spécifique, permet de détecter aussi la présence de plusieurs espèces de petits mammifères (mulots, campagnols roussâtres, loir <i>Glis glis</i>) dont certaines sont très présentes (mulots), ce qui peut compliquer la lecture des résultats.
Fiabilité de la détermination	Forte. Si l'empreinte est propre, il est facile d'identifier le muscardin. Cependant, certains facteurs peuvent compromettre son identification, tels que la surreprésentation excessive des espèces communes sur les bandes de papier, ainsi que des problèmes potentiels de marquage (encre sèche ou des empreintes incomplètes).
Coût de la technique	Moyen. L'application de cette technique requiert un investissement matériel minimum (surtout en cas d'achat du matériel tout prêt), mais surtout un investissement en temps humain relativement important.

Délai d'obtention de résultats	La lecture du résultat peut se faire directement sur le terrain mais le résultat est généralement obtenu au bout de 2 à 3 semaines après la pose des dispositifs.
Efficience de la technique	Basée sur un fort investissement en matériel et temps humain pour la pose, la surveillance et l'entretien et nécessitant une durée de pose importante (au moins deux semaines), cette technique se révèle efficace mais moyennement rentable (<i>cf.</i> probabilité de détection).
Probabilité de détection	En maintenant les dispositifs en place pendant un certain temps, il est probable que le muscardin, s'il est présent, finisse par venir consommer l'appât. Les résultats de notre étude menée sur trois sites (Noulhiane <i>et al.</i> in press) indiquent qu'après deux semaines, avec 44 tunnels répartis le long d'une ligne de transect de 200 m, en cas de présence certaine de muscardins, nous observons généralement au moins un tunnel positif.
Dérangement de la technique	Faible. L'animal n'est pas directement manipulé, mais son comportement peut être partiellement perturbé par l'attraction exercée par l'appât. En outre, l'utilisation d'encre pour marquer les empreintes du muscardin soulève des interrogations quant à son impact potentiel sur leur santé et leur comportement, notamment en ce qui concerne une augmentation possible des comportements de toilettage.
Dommages collatéraux potentiels sur espèces non-cibles	Les mêmes questions sont retrouvées pour les autres espèces que celles citées ci-dessus pour le muscardin.

B. Les tunnels à poils

i. Le principe

Les tunnels à poils sont généralement confectionnés à partir d'un simple tube en PVC et de ruban adhésif (Bright *et al.* 2006), ce qui rend cette technique à la fois économique et facile à reproduire. Mais cette technique n'est utilisée que dans certains pays, seuls des articles décrivant l'emploi de cette technique en Italie ont été trouvés (Capizzi *et al.* 2002). Certaines associations naturalistes françaises (la Société d'histoire naturelle d'Autun ou encore le Groupe mammalogique normand) utilisent cette technique pour détecter d'autres espèces comme le loir gris ou le campagnol amphibie (*Arvicola sapidus*) mais pas pour détecter le muscardin.

La longueur du tube varie, allant de 10 à 20 cm en fonction des études (Ferretti 2013). Le diamètre du tube peut être adapté à l'espèce étudiée, par exemple, le diamètre pour étudier le muscardin est généralement compris entre 3 et 4 cm (Bright *et al.* 2006). Les bandes de ruban adhésif doivent être remplacées toutes les 1 à 2 semaines (Capizzi *et al.* 2002). En général, les tubes sont disposés à environ 1,5 mètre du sol (Ferretti 2013). Le nombre de tubes utilisés peut varier en fonction des études, sans qu'il n'existe de nombre précis et universel. Il peut varier, par exemple, de trente (soit six par station) (Capizzi *et al.* 2002) à une centaine (environ douze par station) (Orienti 2020) par transect. Un plus grand nombre de tubes augmente les chances de détecter l'espèce, il est donc recommandé d'en utiliser davantage.

L'analyse des poils peut être effectuée de deux manières : soit par analyse génétique, généralement utilisée dans les études, soit en identifiant visuellement les poils de muscardin au microscope (grossissement de 100 ou 400) (Ferretti 2013) :

- Détermination via des analyses génétiques. Après des nombreuses discussions avec diverses personnes appartenant à des associations naturalistes en France, cette technique est généralement

considérée comme fastidieuse et coûteuse pour identifier les poils de muscardin, ce qui limite son utilisation pour la détection de cette espèce.

- Détermination via une observation au microscope. L'identification des poils au microscope est une tâche chronophage, généralement limitée à la détermination du genre. Les poils de muscardin ont une médulla unisériée, contrairement à d'autres petits mammifères, et une couche orange fauve. Il semble donc possible de les distinguer. Cette technique présente l'avantage d'être peu coûteuse, ce qui permet de la déployer à grande échelle et elle est facile à mettre en place (Bright *et al.* 2006). Néanmoins l'efficacité de cette technique varie selon les études. Certaines suggèrent que seulement 10 % des tubes contiennent des poils de muscardin (Bellicaud & Pagès 2013), tandis que d'autres attestent de son efficacité (Ferretti 2013).

ii. Le retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFPEM

Sur les trois sites étudiés en 2023 en Bourgogne, le ruban adhésif utilisé s'est révélé extrêmement collant, capturant également les poils de bourre. Lors de la comparaison des poils de bourre de muscardin et de mulots sous microscope, il s'est révélé impossible de distinguer la médulla des poils de bourre de mulots de celle des poils de muscardin (médulla potentiellement unisériée) (Noulhiane *et al.* in press). Par conséquent, il n'a finalement pas été possible d'identifier les poils de muscardin sur les bandes de ruban adhésif récoltés dans les tunnels à poils. Ainsi, l'expérience a montré que, sans analyse génétique, il semble très compliqué d'identifier les poils de muscardin à l'aide d'un simple microscope (Noulhiane *et al.* in press).

Au cours de cette étude, l'utilisation de tubes ronds a révélé des difficultés d'accès pour les micromammifères, notamment en raison de la surface trop glissante en cas de pluie (illustration 4) (Noulhiane *et al.* in press). De plus, l'absence d'une planchette plus longue que le tube à l'intérieur du dispositif (comme dans le cas des tunnels à empreintes), pouvant faciliter l'accès à l'intérieur du tube, a contribué aux nombreuses chutes que les micromammifères pouvaient subir en tentant d'entrer dans le tube. Par conséquent, il serait plus judicieux d'opter pour l'utilisation de tubes rectangulaires avec une planchette plus longue que le tube ou alors de découper la moitié haute du tube de quelques centimètres, ce qui augmenterait les chances d'inciter le muscardin à entrer facilement dans le tube (Julie Noulhiane com. pers.).



Illustration 4 : Positionnement et schéma d'un tunnel à poils © Christian Arthur et Julie Noulhiane

iii. Synthèse des forces et faiblesses de cette technique

Caractéristiques principales	
Spécificité	Le diamètre du tube permet une sélectivité des espèces. Plus le diamètre sera proche de 2 cm, plus il sera spécifique au muscardin.
Fiabilité de la détermination	Faible. La médulla des poils de bourre du mulot étant unisériée comme les poils de muscardin, la distinction spécifique du muscardin n'est pas possible avec certitude.
Coût de la technique	Important. En termes d'installation sur le terrain, cette technique requiert comme les tunnels à empreintes du temps de fabrication et installation, avec le coût d'achat du matériel. Elle demande aussi du temps pour la vérification et les relevés. Cette technique requiert aussi des investissements plus lourds, que ce soit au niveau du matériel (microscope pour l'analyse des poils...) ou sur le plan financier (notamment dans le cas d'une analyse génétique), ainsi que du temps humain dans l'analyse microscopique (supérieur à celui de l'examen des tunnels à empreintes).
Délai d'obtention de résultats	Différé. Les résultats ne sont pas immédiats puisqu'il faut laisser les tubes plusieurs semaines. A cela s'ajoute le temps d'analyse des échantillons collectés.
Efficience de la technique	Cette technique nécessite un fort investissement en matériel et temps humain pour la pose et la surveillance / entretien des tubes et pour l'analyse des résultats. Les résultats peuvent être influencés par le choix du type de ruban adhésif. Il est crucial d'adapter le ruban adhésif utilisé en fonction de l'analyse choisie, en optant pour un ruban adhésif très adhérent dans le cas d'une analyse génétique afin de récupérer le bulbe, et en préférant un ruban adhésif moins collant pour l'analyse au microscope. En optant pour une approche génétique, l'incertitude des résultats est réduite, tandis qu'avec une analyse microscopique, le taux d'incertitude est plus élevé.
Probabilité de détection	Du fait du problème rencontré avec le ruban adhésif, il n'a pas été possible de tenir compte de nos résultats de terrain et la fiabilité de cette technique ne peut pas être évaluée. Selon la bibliographie, les résultats varient selon le type d'analyse choisie. Cette technique, bien que fastidieuse, suscite des controverses.
Dérangement de la technique	Moyenne. La technique implique de facto un prélèvement sur l'animal. L'animal n'est pas directement manipulé, mais son comportement peut être partiellement perturbé par l'attraction exercée par l'appât. Le fait de retirer des poils à un organisme a inévitablement un impact variable sur l'individu concerné. Certains individus sont davantage affectés que d'autres, notamment ceux qui peuvent se retrouver coincés dans le tube en raison d'une adhérence excessive du ruban adhésif (<i>Julie Noulhiane com. pers.</i>).
Dommages collatéraux potentiels sur espèces non-cibles	Les mêmes questions se retrouvent pour les autres espèces que celles citées ci-dessus pour le muscardin. De plus, cette technique, avec le type de ruban adhésif utilisé (très adhérent), a eu un impact notable sur les mulots (certains y ont laissé leur queue, le mulot ayant une capacité d'autotomie caudale), et sur les loirs (un individu étant resté scotché.)

C. Les enregistreurs acoustiques

i. Le principe

L'utilisation d'enregistreurs acoustiques pour détecter la présence de petits mammifères terrestres non volants dans leur milieu naturel est encore très récente. A notre connaissance, seule l'équipe du chercheur Stuart Newson en Angleterre a publié récemment sur l'avancée de cette technique. Cette nouvelle technique suscitant beaucoup d'intérêt de la part des associations naturalistes en France, certaines ont déjà entamé leur recherche à son sujet. C'est le cas notamment du Groupe mammalogique breton, qui a lancé à l'été 2023 une prospection du muscardin à l'aide de cette technique et qui a remarqué une efficacité notable pour détecter le muscardin (10 à 60 % de nuits positives au muscardin sur 4 sites).

Le muscardin possède six types de cris différents compris entre 6,5 et 52,1 kHz, ces vocalisations étant associées à des comportements sociaux tels que les comportements territoriaux (Ancillotto *et al.* 2014). Des enregistreurs acoustiques peuvent capter ses vocalisations jusqu'à 5 mètres de distance (Newson & Pearce 2022).

Les enregistreurs acoustiques pour chauves-souris peuvent capter les vocalisations du muscardin, mais certains déconseillent d'utiliser l'Audiomoth pour ses problèmes de qualité d'enregistrement (*Stuart Newson com. pers.*). Néanmoins, des Audiomoth ont été employés au sein de l'association Groupe mammalogique breton (GMB) et ont permis la collecte de sons de muscardins.

Les enregistreurs acoustiques sont placés à trois mètres du sol et enregistrent idéalement plusieurs nuits (environ dix) sur un poteau pour éviter les problèmes de qualité d'enregistrements liés au fait de placer le micro près d'une surface plane (tronc, feuille...). Il faut également les séparer de 10 mètres les uns des autres. Les enregistrements se font de nuit, de 30 minutes avant le coucher du soleil jusqu'à 30 minutes après le lever du soleil (Newson & Pearce 2022). Pour augmenter les probabilités de détecter le muscardin par les sons qu'il émet, les auteurs placent souvent une plateforme appâtée sous l'enregistreur acoustique (Maclsaac 2022). Pour identifier les cris du muscardin, il est possible de discriminer les sons via le package R MonitoR (Maclsaac 2022) ou via le logiciel BTO Acoustic pipeline (Newson & Pearce 2022). Cependant, avec ce logiciel anglais, des confusions peuvent se produire pour des analyses de données enregistrées en France car la base de données de ce logiciel ne possède pas encore en référence tous les sons de petits mammifères de France (et notamment ceux liés au Lérot ou au Loir). De plus, il peut y avoir une confusion du logiciel entre le muscardin et le genre *Rattus*. C'est pourquoi il est judicieux à ce jour de vérifier manuellement les sons identifiés comme « muscardin » (*Stuart Newson com. pers.*).

D'autres utilisent R studio pour analyser les sons (Jean-François Godeau *com. pers.*). Le GMB a réalisé une comparaison entre les résultats fournis par un script R studio et ceux obtenus par le logiciel BTO acoustic pipeline et a constaté que le script R était moins sélectif que le logiciel BTO avec environ 1 % de faux positifs (c'est-à-dire de séquences attribuées au Muscardin alors que ça n'en est pas), ce qui peut représenter quelques centaines de séquences pour des enregistrements à plusieurs dizaines de milliers de sons collectés (Thomas Dubos *com. pers.*). Le BTO Pipeline est plus sélectif, mais rate plus de 80 % des séquences contrôlées comme certaines de Muscardin, il serait donc actuellement "trop" sélectif (Thomas Dubos *com. pers.*).

Pour l'instant, il y a très peu de recul sur l'utilisation de cette technique. Cependant déjà quelques inconvénients sont relevés. Tout d'abord au vu du large intervalle de fréquences dans lequel le muscardin émet, il est fort probable qu'il y ait de fausses détections négatives muscardin (Maclsaac 2022). De plus, il est également possible que des cris aient été en dessous du seuil de détection du microphone de l'enregistreur acoustique, et donc échappent à l'enregistrement (Maclsaac 2022). Il est important de noter également que les petits mammifères ne font pas des cris tout le temps lorsqu'ils se déplacent, contrairement aux chauves-souris, donc ils ne produisent pas la même quantité d'enregistrements (Newson & Pearce 2022).

Certains problèmes liés à un signal trop faible peuvent compromettre l'identification des sons émis par les muscardins, en particulier si la fréquence prolongée caractéristique du muscardin est fragmentée en plusieurs segments (*Jean-François Codeaux com. pers.*). Ainsi, l'utilisation de logiciels de traitement implique un compromis entre une sélectivité élevée pour garantir la fiabilité de l'identification et le risque de ne pas détecter des signaux plus courts qui pourraient être des émissions sonores de muscardins (*Jean-François Codeaux com. pers.*), ce qui induirait une plus faible rentabilité de cette technique.

Néanmoins, elle a pour avantage d'être une technique non-invasive et peut être utilisée par de nombreux enquêteurs (Newson & Pearce 2022) et dans tous les types de milieux. De plus, les sons de muscardins peuvent être captés en tant que données accessoires lors d'études sur les chiroptères (Newson & Pearce 2022). A cela s'ajoute le fait que cette technique peut être utilisée dans des zones éloignées ou des habitats difficiles à étudier (Newson & Pearce 2022).

Mais à l'heure actuelle, il est fort probable que notre connaissance du répertoire acoustique du muscardin demeure encore incomplète (*Jean-François Codeaux com. pers.*) et limite de ce fait l'utilisation de cette technique sur le territoire métropolitain.

ii. Retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFEPM

Sur les trois sites étudiés en 2023 en Bourgogne, cette technique a bien fonctionné sur deux des trois sites, mais des problèmes techniques se sont manifestés sur les premier et deuxième sites, affectant directement les résultats. Malgré cela, des sons de muscardin ont été détectés dès les deux premières nuits (Noulhiane *et al.* in press). Pendant cette étude, l'analyse des sons a été réalisée à l'aide du logiciel BTO Acoustic Pipeline, mais ce logiciel a signalé une forte incertitude concernant les sons identifiés comme étant du muscardin (Noulhiane *et al.* in press). Par conséquent, une vérification manuelle des sons à posteriori devra être réalisée. Les enregistreurs acoustiques ont démontré leur efficacité, notamment dans des environnements à végétation dense où seule cette technique a donné des résultats positifs (Noulhiane *et al.* in press) (illustration 5).



Illustration 5 : Enregistreur acoustique et microphone utilisés par la SFEPM dans l'étude © Christian Arthur

Sur le terrain, les bonnettes des micros peuvent être endommagées par certains micromammifères ou orthoptères, ce qui rend parfois nécessaire un remplacement régulier (Julie Noulhiane *com. pers.*). De plus, les cartes SD doivent être changées plus fréquemment que pour les appareils photo automatiques, car elles se remplissent plus rapidement (Julie Noulhiane *com. pers.*). Son coût peut être conséquent au départ mais le temps humain requis est moindre par rapport à d'autres techniques (environ 17 heures durant notre étude par site) (Julie Noulhiane *com. pers.*).

iii. Synthèse des forces et faiblesses de cette technique

Caractéristiques principales	
Spécificité	Cette technique n'est pas spécifique au muscardin, elle est avant tout utilisée pour les chiroptères, mais peut également servir à détecter la présence du muscardin. Elle recueille donc les sons de nombreuses espèces (dont des orthoptères qui peuvent saturer les cartes SD) et donc d'autres micromammifères, ce qui pèse sur la fiabilité des données récoltées pour le muscardin.
Fiabilité de la détermination	Moyenne. Actuellement, des confusions avec d'autres espèces compromettent la fiabilité de la technique. Aussi, des vérifications manuelles sont à ce jour nécessaires pour vérifier les identifications automatiques. En l'absence de catalogue de références permettant une discrimination forte des sons de muscardin, la fiabilité de cette technique n'est pas totale (mais les sons peuvent être conservés et réanalysés ultérieurement).
Coût de la technique	Important. Cette technique requiert initialement un investissement matériel, notamment avec l'acquisition d'un microphone et d'un enregistreur (investissement minimum d'au moins 150 € si l'enregistreur est fabriqué en interne ou bien peut de 450-500 € avec des enregistreurs standard chauves-souris). L'investissement en temps humain est plus important : pose des micros et enregistreurs, relevés réguliers des cartes SD (tous les 4-5 jours) et analyse des sons. Il peut être d'autant plus important si la détermination se fait de manière manuelle, son par son.
Délai d'obtention de résultats	Différé. Une analyse des sons en laboratoire par le biais de logiciels d'analyse est indispensable (BTO Acoustic pipeline, R studio...). Elle peut être faite après le relevé des cartes ou bien plus tard, les sons pouvant être conservés sur cartes SD pendant longtemps.
Efficience de la technique	Cette technique nécessite du matériel au départ qui peut être onéreux, elle demande aussi un certain investissement humain : pose du matériel mais surtout relevés fréquents pour limiter la saturation des cartes et temps nécessaire pour l'analyse individuelle des sons en cas d'analyse manuelle. Néanmoins, si sa forte probabilité de détection est confirmée elle peut se révéler très rentable.
Probabilité de détection	Forte ? Les premiers résultats semblent indiquer que là où le muscardin est présent cette technique, pour peu que plusieurs appareils soient disposés, permet de détecter quasiment à coup sûr l'espèce. Toutefois, des problèmes techniques, ou de détériorations du matériel (par mulots, rats ...) mais aussi la saturation rapide des cartes par les sons d'autres espèces (chiroptères, orthoptères) peuvent en limiter l'usage. Davantage de tests semblent nécessaires pour confirmer cette analyse.
Dérangement de la technique	Aucune. Cette technique est non-invasive : pas d'attrance via un appât, pas de prélèvement de poils, de manipulation des animaux ...
Dommages collatéraux potentiels sur espèces non-cibles	Aucune interférence avec des espèces non-cibles qui peuvent aussi être inventoriées par cette technique.

D. La récolte d'urine

i. Le principe

Cette technique, rarement utilisée et très récente, repose sur le fait que les rongeurs excrètent librement de l'urine (Priestley *et al.* 2021). En plaçant des bandes de papier à l'intérieur de tubes nichoirs (ou dans un tunnel à empreintes sans encre) pour collecter l'urine, il est possible d'augmenter la probabilité de détecter l'espèce par rapport à une technique traditionnelle, telle que l'utilisation de nichoirs (Priestley *et al.* 2021). Il convient de noter que ces bandes de papier n'empêchent pas les muscardins de construire leur nid (Priestley *et al.* 2021).

Une fois que ces bandes de papier ont recueilli de l'urine, elles sont soumises à une analyse par séquençage d'ADN à haut débit. Cependant ces analyses sont assez coûteuses. Il est aussi essentiel de trouver un équilibre entre la dégradation de l'ADN et le temps nécessaire pour l'échantillonnage, idéalement inférieur à 14 jours (Priestley *et al.* 2021). Les échantillons doivent être conservés à une température de -20°C dans les 3 heures suivant leur collecte (Priestley *et al.* 2021). De plus, il est noté qu'il est possible de réaliser des analyses d'ADN environnemental sur les bandes de papier provenant des tunnels à empreintes si les empreintes ne sont pas identifiables (Priestley *et al.* 2021). Cette technique est sous documentée. Jusqu'à présent, la littérature ne fournit pas de données chiffrées concernant l'efficacité de cette technique.

ii. Le retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFPEM

Cette technique n'a pas été mise en œuvre dans le cadre de l'étude de la SFPEM.

iii. Synthèse des forces et faiblesses de cette technique

Caractéristiques principales	
Spécificité	Cette technique peut être utilisée pour différents micromammifères et notamment le muscardin.
Fiabilité de la détermination	Forte. Si toutes les conditions sont respectées (temps de récolte inférieur à 14 jours, mise au froid de l'échantillon dans les 3 heures suivant sa collecte), l'analyse génétique devrait permettre d'identifier avec certitude l'espèce.
Coût de la technique	Important. Elle implique un investissement matériel conséquent, notamment l'acquisition de tubes, de papier, etc., ainsi qu'un investissement en temps humain pour la mise en place des tubes et la collecte des papiers. De plus, il faut prendre en compte les coûts élevés liés aux analyses.
Délai d'obtention de résultats	Différé. L'obtention des résultats via l'analyse génétique peut prendre un certain laps de temps.
Efficience de la technique	Nécessitant du matériel, des passages fréquents (limiter la dégradation de l'urine) et un minimum de matériel de stockage, en dehors du coût même de l'analyse, cette technique se révèle onéreuse et la fiabilité des résultats est dépendante de nombreuses conditions.
Probabilité de détection	Faible. L'analyse génétique accroît la fiabilité des résultats, mais divers facteurs, tels que la dégradation de l'ADN, peuvent influencer l'obtention de résultats. De plus, cette technique repose sur l'hypothèse que le muscardin va uriner sur les bandes de papier ; en cas d'absence d'émission d'urine par le muscardin, cela pourrait donc entraîner de nombreux faux négatifs.

Dérangement de la technique	Faible. Si l'utilisation d'un appât a lieu pour attirer l'animal dans le tube, cette technique présente les mêmes inconvénients potentiels que pour les tunnels à empreintes ou poils. Le prélèvement en lui-même est non invasif, car l'urine est collectée indirectement sur un support, ce qui signifie qu'elle n'a aucun impact sur l'individu
Dommages collatéraux potentiels sur espèces non-cibles	En dehors des modifications possibles de comportement des autres espèces, elle n'entraîne pas d'autre impact sur les espèces non cibles.

V. Observation directe d'un individu avec l'aide de dispositifs.

A. La caméra thermique

i. Le principe

Cette technique demeure largement sous-documentée, avec très peu d'information disponible concernant son potentiel d'application dans divers pays. Ce manque de documentation est probablement dû à sa récente introduction et à son coût considérable d'acquisition.

Il semble que l'utilisation d'une caméra thermique puisse se révéler utile pour savoir si un nichoir est occupé ou non (Worrall & Trout 2022). De plus, il est possible de détecter la présence de muscardin dans la végétation en se déplaçant le long d'une ligne de transect avec une caméra thermique (Caublot 2016). La comparaison de différents matériels (faite en dehors de l'étude menée en Bourgogne, et les discussions/échanges avec divers utilisateurs) semble montrer une nette différence de qualité, tant dans la détection (sensibilité thermique) que dans la définition des images, selon le matériel utilisé, les modèles « haut de gamme » (environ 4 000 €) étant les plus performants. Cependant, certains ont noté que l'identification des individus après les avoir éclairés peut s'avérer difficile car « *les animaux plongeaient rapidement dans les ronciers au moindre bruit* » (Boireau 2019). Cette technique permet donc de détecter le muscardin, mais la probabilité de l'observer reste assez faible. Par exemple, le long d'un bocage lors de 7 visites automnales totalisant 48 heures de prospection sur une distance de 22,7 kilomètres, 27 muscardins ont été observés (Philippe Spiroux com. pers.)

En général, l'utilisation d'une caméra thermique se fait le long d'un transect, en marchant lentement la nuit et en balayant de haut en bas avec la caméra. Après avoir repéré un point chaud à l'aide de la caméra thermique, l'approche consiste à s'en rapprocher pour l'identifier visuellement à l'aide d'une lampe torche (Spiroux 2023).

ii. Retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFEPM

Sur les trois sites étudiés en 2023 en Bourgogne, après discussions avec des naturalistes utilisant cette technique, c'est la caméra thermique Hikmicro (modèle Lynx L15), avec une focale de 6,2 mm, qui a été utilisée (coût à l'achat : environ 1 400 €) (illustration 6). Une seule observation a été réalisée, vers 00h, malgré six nuits d'observation par site (soit 18 nuits, ou 36 h, au total). Il est important de noter que les appareils photographiques automatiques ont révélé une activité plus marquée du muscardin entre 00h et 3h (soit entre 22h et 1h heure GMT en été), ce qui a pu introduire un biais dans les résultats, étant donné que les prospections à la caméra thermique ont eu lieu entre 22h et 00h (Noulhiane *et al.* in press). L'identification des points chauds, faite dans notre étude en sous-bois, s'est avérée difficile au-delà de trois mètres en raison de la chaleur émise par la lune, qui se reflète sur la cime des arbres, perturbant les images. De plus, la confirmation visuelle d'un muscardin à une distance supérieure à trois mètres s'est révélée complexe

(Noulhiane *et al.* in press). En conséquence, dans nos conditions d'utilisation en sous-bois relativement denses et avec le matériel retenu, cette technique n'a pas démontré une efficacité significative dans la détection du muscardin.



Illustration 6 : Le modèle de caméra thermique utilisé par la SFEPM dans l'étude © Christian Arthur

iii. Synthèse des forces et faiblesses de cette technique

Caractéristiques principales	
Spécificité	Cette technique permet d'observer tout type de mammifère terrestre.
Fiabilité de la détermination	Forte. La localisation de l'individu (en haut d'un arbre) et sa démarche facilitent l'identification de l'espèce mais la détection reste difficile et la détermination n'est pas toujours sûre à 100 %.
Coût de la technique	Important. Cette technique nécessite un investissement matériel de départ très important (plus de 1 400 € pour un matériel de base, mais près de 4 000 € pour un matériel plus performant). Le temps, de nuit, passé à la prospection (environ 2 heures pour prospecter correctement 200 m) peut s'avérer important.
Délai d'obtention de résultats	Immédiat. Comme l'observation se fait de manière directe, les résultats sont immédiats.
Efficience de la technique	Dans nos conditions d'utilisation, en sous-bois avec une faible luminosité, cette technique s'est révélée peu efficace, onéreuse (achat du matériel) et nécessite du temps (7 nuits pour 27 muscardins en zones de forte abondance, Spiroux comm. pers.). Les résultats pourraient peut-être être améliorés en changeant de modèle de caméra et en prospectant à une heure plus tardive (00h-2h). Cette technique peut aussi se révéler peut-être plus performante le long de haies (absence de perturbations sonores avertissant le muscardin). La question de la bonne adéquation « horaire de prospection / activité du muscardin » en fonction de la saison est aussi à approfondir.
Probabilité de détection	Faible. Dans certaines conditions (notamment celles que nous avons suivies), malgré la présence certaine de muscardins (vérifiée par appareils photos), une seule observation d'un animal a pu avoir lieu, ce qui démontre l'absence d'exhaustivité de cette technique dans ces conditions.
Dérangement de la technique	Faible. Néanmoins, pendant la prospection nocturne, il est important de considérer le potentiel dérangement des muscardins, qui peut influencer leur

	comportement, en particulier leurs déplacements et de ce fait modifier leurs horaires d'activité et leur utilisation de l'espace.
Dommmages collatéraux potentiels sur espèces non-cibles	Le même dérangement potentiel s'exerce sur les autres espèces.

B. Les nichoirs ou tubes nichoirs

i. Le principe

Les nichoirs et les tubes nichoirs font partie des techniques les mieux documentées, en particulier en France, en Italie (Sorace *et al.* 1999), en Lituanie (Juškaitis & Remeisis 2007), en Allemagne (Scherbaum-Heberer *et al.* 2017) et en Angleterre (Malyan *et al.* 2023). Cette technique est notamment utilisée dans le programme national de surveillance du muscardin en Grande-Bretagne.

En France, au niveau régional, de nombreuses associations les utilisent, notamment le Groupe mammalogique d'Auvergne (Bellicaud & Pagès 2013), le Groupe mammalogique normand (GMN 2021), ainsi que le Groupe d'Etudes et Protection des Mammifères d'Alsace et le Groupe Mammalogique et Herpétologique du Limousin. Les performances diffèrent selon les régions ; en Normandie, les nichoirs produisent d'excellents résultats, tandis qu'en Bretagne leur efficacité se révèle décevante.

Plusieurs études ont comparé l'utilisation des tubes nichoirs et des nichoirs, mais les opinions sont partagées. Certaines montrent que les nichoirs sont préférés (Baltus *et al.* 2012), tandis que d'autres indiquent que ce sont les tubes nichoirs (Lang *et al.* 2018).

Les nichoirs à muscardin ressemblent à des nichoirs pour oiseaux, à la différence que leur entrée est orientée vers le tronc de l'arbre (Bright *et al.* 2006, Bellicaud & Pagès 2013). Ces nichoirs sont placés à une hauteur de 1,5 à 2 mètres (Bellicaud & Pagès 2013). D'autres espèces, telles que les oiseaux, le mulot sylvestre ou le mulot à collier, ainsi que des invertébrés, utilisent également ce type de nichoirs (Bright *et al.* 2006). Pour rendre les nichoirs spécifiques au muscardin, il a été démontré qu'une entrée rectangulaire de 1,5 cm de largeur et 4 cm de longueur, limitait notamment l'accès aux mésanges (Verbeylen 2017) (illustration 8).



Illustration 8 : Nichoir posé pour le muscardin © Colocaterre

Les tubes nichoirs sont constitués d'un tube rectangulaire en plastique noir de 5 cm de large et de 25 à 30 cm de long. À l'intérieur, une planchette en contreplaqué est fixée à l'une des extrémités pour sceller le tube (Bellicaud & Pagès 2013). Ils sont de préférence fixés à l'aide de fil de cuivre recouvert de plastique, le long d'une branche horizontale (Bright *et al.* 2006).

Il est recommandé de disposer au moins une cinquantaine de nichoirs ou de tubes nichoirs en lisière d'un bois, espacés les uns des autres de 20 mètres (Bright *et al.* 2006). Pour être efficaces, les nichoirs et les tubes nichoirs doivent être placés pendant plusieurs mois. Ils sont généralement occupés à la sortie de l'hibernation en mai et/ou à la dispersion des jeunes avant l'entrée en hibernation en août/septembre (Bright *et al.* 2006). Une vérification mensuelle est conseillée (Chanin & Woods 2003). Cependant, manipuler cette espèce nécessite une dérogation à la capture des espèces protégées (article L.411-2 du code de l'environnement). Si l'objectif premier de cette technique est de pouvoir procéder à une observation directe de l'animal (ce qui peut permettre d'avoir des données sur la reproduction), l'occupation des nichoirs par l'espèce peut également être déterminée en identifiant les poils présents à l'intérieur des nichoirs (Resch *et al.* 2017).

Ces nichoirs ont aussi l'avantage de contribuer à la conservation de l'espèce, en offrant un lieu de nidification lorsque l'habitat naturel ne le permet pas. De plus, cette technique est relativement peu coûteuse et facile à mettre en place (Bellicaud & Pagès 2013). Cependant, elle n'est efficace qu'à long terme, car les nichoirs peuvent rester inoccupés pendant des années (Bellicaud & Pagès 2013). Leur efficacité peut aussi varier en fonction des autres possibilités offertes par l'habitat (Mills *et al.* 2016). Enfin, ils permettent aussi de détecter d'autres espèces, par exemple en Angleterre, en l'espace de deux mois, 9 loirs ont été trouvés dans des tubes nichoirs (Chanin & Gubert 2011).

ii. Le retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFEPM

Cette technique n'a pas été mise en œuvre dans le cadre de l'étude de la SFEPM.

iii. Synthèse des forces et faiblesses de cette technique

Caractéristiques principales	
Spécificité	Ces nichoirs peuvent être utilisés par d'autres espèces tels que les mésanges ou les frelons.
Fiabilité de la détermination	Forte. Un nid ou un muscardin vu dans un tube ou un nichoir ne peut quasiment pas être confondu.
Coût de la technique	Moyen. Cette technique à long terme nécessite un investissement matériel mais aussi humain (pose des nichoirs, entretien, relevé etc..)
Délai d'obtention de résultats	Différé. Les résultats ne sont obtenus qu'après plusieurs mois (voire années) après la pose du tube ou nichoir.
Efficacité de la technique	Même si son coût est modique (dans le cas des tubes nichoirs, sinon compter plus de 50 € par nichoir préfabriqué) et sa pose peu exigeante en temps, la nécessité de surveiller les dispositifs tous les 3-4 mois et la durée pour une observation positive rendent cette technique peu rentable. Cette technique peut cependant apporter des informations sur le cycle reproducteur de l'espèce.
Probabilité de détection	Le muscardin ne choisit pas systématiquement un nichoir pour construire son nid. En effet, s'il dispose déjà d'un habitat propice, il n'utilisera pas nécessairement le nichoir. De plus, si le muscardin se contente de visiter le nichoir sans y établir son nid, aucune trace ne sera laissée. Ainsi, la présence du muscardin ne pourra être confirmée que lorsqu'il construit son nid ou lors de son observation directe dans le nichoir.

Dérangement de la technique	Moyenne. La perturbation potentielle lors du relevé du nichoir peut avoir des répercussions, en particulier si le muscardin se trouve encore à l'intérieur au moment de la visite.
Dommages collatéraux potentiels sur espèces non-cibles	Mêmes remarques que ci-dessus. En outre, en cas de nidification par des oiseaux, la visite des nichoirs peut entraîner l'abandon de la couvée par les parents.

VI. Observation indirecte d'un individu avec l'aide de dispositifs.

A. Les appareils photographiques automatiques

i. Le principe

L'utilisation d'appareils photographiques automatiques pour la détection des micromammifères demeure une approche encore relativement peu répandue. Cependant, plusieurs études ont démontré son efficacité dans la détection du muscardin. Cette technique a été couronnée de succès au Royaume-Uni (Mills *et al.* 2016), en Allemagne (Villing & Horst 2021), ainsi qu'au Danemark (Hansen *et al.* 2023). Certaines associations françaises ont recours à cette méthode, notamment le Groupe d'Études et de Protection des Mammifères d'Alsace, qui mobilise ses bénévoles pour installer des appareils photo automatiques équipés d'une bouteille en plastique et d'une lentille (*Jean Chevalier com. pers.*).

Les appareils photographiques automatiques sont habituellement disposés avec un support appâté à proximité (Villing & Horst 2021), augmentant ainsi les chances de repérer le muscardin. Elles enregistrent généralement des vidéos d'au moins 10 secondes pendant la nuit (Villing & Horst 2021), ce qui permet de « capturer virtuellement » cette espèce réputée pour sa grande agilité, et de l'identifier non seulement par sa morphologie, comme cela serait le cas avec une simple photo, mais aussi par son comportement. En règle générale, les chercheurs utilisent un nombre limité d'appareils photographiques automatiques par station (Hansen *et al.* 2023).

Cette technique présente l'avantage d'être non invasive et permet d'acquérir des informations complémentaires, telles que les périodes d'activité des muscardins. Cependant, elle comporte des inconvénients, notamment en termes de coût d'équipement et du temps humain nécessaire à l'analyse des vidéos.

ii. Retour d'expérience suite à l'étude mise en place par la SFEPM

Sur les trois sites étudiés en 2023 en Bourgogne, aucune différence significative entre les tunnels à empreintes et les appareils photo automatiques n'a été observée. Toutefois, malgré ce constat, l'efficacité globale des appareils photographiques reste très modeste et présente des variations d'un site à l'autre. Sur le premier et le troisième site, moins de 6 % des appareils photo automatiques se sont révélés positifs à la présence du muscardin, tandis que sur le deuxième site, ce chiffre atteint 49 % (Noulhiane *et al.* in press). Cette faible détection par des appareils photo automatiques pourrait être associée aux taux de détection des tunnels à empreintes et à poils, étant donné qu'ils ont été positionnés face à l'un de ces dispositifs. Sur le plan technique, l'efficacité des appareils photo automatiques est également dépendante de l'habitat, avec des difficultés accrues pour les positionner correctement dans des environnements où la surface terrière est inférieure à 10 cm (Noulhiane *et al.* in press). Un placement inadéquat entraîne une augmentation des vidéos indésirables (mouvements de feuilles et de branches, etc.) et diminue les chances de filmer un micromammifère à proximité de l'appareil mal cadré (Noulhiane *et al.* in press). La hauteur des appareils photo automatiques suscite également des interrogations. Étant donné que le muscardin a été observé à une hauteur de 7 à 8 mètres dans divers environnements, la pose des dispositifs à une hauteur de 1,5 mètre

pourrait potentiellement être trop basse pour attirer un muscardin en déplacement à une hauteur plus élevée (Noulhiane *et al.* in press). En outre, les niches écologiques des mulots et du muscardin pouvant se chevaucher, notamment par rapport au régime alimentaire, il est probable qu'une compétition potentielle puisse influencer la présence du muscardin à une hauteur de 1,5 mètre (Julie Noulhiane com. pers).

Enfin, cette technique s'avère coûteuse en termes de matériel et de temps humain, avec une moyenne de 45 heures de vidéos récoltées et à analyser par site au cours d'une étude (Noulhiane *et al.* in press) (illustration 7).



Illustration 7 : Appareil photographique utilisé et modalité de pose par la SFPEM dans l'étude

iii. Synthèse des forces et faiblesses de cette technique

Caractéristiques principales	
Spécificité	Cette technique est employée pour repérer diverses espèces y compris le muscardin. L'installation d'appareils photo automatiques permet non seulement de détecter le muscardin, mais également d'autres espèces qui pourraient traverser le champ de vision de l'appareil.
Fiabilité de la détermination	Forte. La vidéo permet d'identifier l'espèce non seulement par sa morphologie mais aussi par son comportement. Elle fournit une identification fiable à quasiment 100 %.
Coût de la technique	Important. Cette technique représente un investissement matériel conséquent (3 000 € pour un transect avec 11 appareils), et un investissement humain pour la pose et pour l'examen des vidéos. Le développement de logiciels automatiques pourrait permettre de gagner du temps mais ils ne sont pas encore au point. De plus, il faut prendre en compte la fabrication et l'entretien des supports appâtés devant les appareils photo automatiques.
Délai d'obtention de résultats	Différé. Les résultats ne sont pas instantanés, car il est nécessaire de laisser les appareils en place pendant plusieurs semaines. L'analyse des vidéos sur un ordinateur permet ensuite une identification des espèces filmées. Ces vidéos peuvent être conservées et analysées plus tard.
Efficacité de la technique	La qualité d'une photo peut varier en fonction de la vitesse et de la direction de déplacement de l'animal. Une vidéo peut résoudre certains de ces problèmes. Dans certains environnements, il peut être difficile de positionner un appareil photo automatique sur un support.
Probabilité de détection	Sur les trois sites étudiés, cette technique a été positive, même si parfois avec des taux de rendement faibles. Cependant, après quelques semaines, on peut être quasi certain d'observer le muscardin s'il est présent sur le site.
Dérangement de la technique	Cette technique n'est pas invasive car elle se limite à filmer les individus qui traversent le champ d'un appareil photo, sans manipulation ni prélèvement.

	Cependant, l'utilisation d'un appât peut avoir un impact sur le comportement de l'animal (rythme d'activité, physiologie, utilisation de l'espace ...).
Domages collatéraux potentiels sur espèces non-cibles	Mêmes remarques que ci-dessus.

VII. Tableau récapitulatif des différentes techniques de détection de présence du muscardin (*Muscardinus avellanarius*)

+++ : fort/important/rapide à très fort/important ; ++ : moyen ; + : faible à très faible ; 0 : aucun/nul ; NE : non évalué

Techniques	Avantages	Inconvénients	Spécificité	Fiabilité	Coût	Délai des résultats	Efficienc	Probabilité de détection	Invasivité
Recherche de noisettes et merises	<ul style="list-style-type: none"> - Accessible à tous - Peu couteuse - Résultats au bout de quelques minutes - Ne nécessite pas de matériel 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficulté de détermination certaine pour les novices - Applicable qu'en présence de noisetiers fructifères 	+++	+++	+	Immédiat	++	++	0
Recherche de nids	<ul style="list-style-type: none"> - Information sur la densité de la population - Résultats au bout de quelques minutes - Ne nécessite pas de matériel 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficulté à les trouver - Uniquement en automne et hiver - Très chronophage 	+++	++	+	Immédiat	+	+	++
Pelotes de réjection	<ul style="list-style-type: none"> - Ne nécessite pas de matériel 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible présence de crânes de muscardin dans les pelotes - Fastidieuse - Indice pouvant être trouvé loin du lieu de présence de l'individu capturé. - Dépendant de la présence de rapaces nocturnes 	++	+++	++	Différé	+	+	0
Tunnels à empreintes	<ul style="list-style-type: none"> - Identification rapide - Facile à poser - Fabrication maison possible - Résultats au bout de quelques semaines 	<ul style="list-style-type: none"> - La pluie crée des dommages sur les bandes de papier - Vérification hebdomadaire nécessaire pour recharge d'encre et de papiers 	++	+++	++	Différé	+	++	+
Tunnels à poils (analyse microscope)	<ul style="list-style-type: none"> - Coût faible - Résultats dès 2-3 semaines - Facile à fabriquer et à poser - Fabrication maison possible 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible fiabilité de détermination (risque d'erreur possible) - Surreprésentation des espèces communes - Analyse longue et couteuse 	++	+	++	Différé	0/+	NE	++
Tunnels à poils (génétique)	<ul style="list-style-type: none"> - Facile à fabriquer et à poser - Fabrication maison possible - Forte fiabilité de détermination 	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse longue et couteuse - Surreprésentation des espèces communes 	++	+++	+++	Différé	++	NE	++
Enregistreurs acoustiques	<ul style="list-style-type: none"> - Facilité de mise en place - Résultats au bout de deux nuits 	<ul style="list-style-type: none"> - Couteuse au départ - Confusion avec les sons du genre <i>Rattus</i> - Pas encore de logiciel gratuit pour traiter les sons - Changements des cartes SD tous les deux jours 	+	++ ?	+++	Différé	++ ?	+++ ?	0
Récolte d'urine	<ul style="list-style-type: none"> - Facile à poser - Fabrication maison possible 	<ul style="list-style-type: none"> - Couteuse - Risque d'obtenir un ADN dégradé - La pluie peut créer des dommages sur les bandes de papier. - Vérification hebdomadaire nécessaire 	++	+++	+++	Différé	+	+	+
Caméra thermique	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de mise en place de dispositifs - Résultats en direct 	<ul style="list-style-type: none"> - Couteuse - Contraignante (horaire nocturne) - Peu de résultats 	0	+++	+++	Immédiat	+	+	++
Nichoirs / Tubes nichoirs	<ul style="list-style-type: none"> - Peut être utilisée toute l'année - Aide aussi à la conservation de l'espèce - Information sur la densité de la population 	<ul style="list-style-type: none"> - Fréquentation des nichoirs peut prendre du temps (parfois + d'un an) - Couteux 	+	+++	++	Différé	+	+	++
Appareil photo automatique	<ul style="list-style-type: none"> - Temps humain limité - Permet d'avoir d'autres informations (période d'activité...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficile à fixer dans certains habitats - Parfois beaucoup de fichiers « poubelles » - Temps long d'analyse des vidéos - Couteuse 	0	+++	+++	Différé	++	++	0

VIII. Remerciements

Ce document a été réalisé dans le cadre d'une étude conduite par la SFEPM en partenariat avec la SHNA. Cette étude a bénéficié du soutien financier de PatriNat et de la Fondation Nature & Découvertes que la SFEPM remercie vivement.



IX. Bibliographie

- Al-Fulaij N., Sharafi S., & Roden Z. 2016. *The Dormouse Monitor*. Summer 2016. People's Trust for Endangered Species, 20 p.
- Ancillotto L., Sozio G., Mortelliti A. & Russo D. 2014. Ultrasonic communication in *Gliridae* (Rodentia): the hazel dormouse (*Muscardinus avellanarius*) as a case study. *Bioacoustics*, 23 : 129–141.
- Baltus H., Mestdagh X., Moes M., Hoffmann L. & Titeux N. 2012. Evaluation de l'état de conservation du muscardin (*Muscardinus avellanarius*) (Mammalia) au Luxembourg : méthodologie et résultats préliminaires. *Bulletin de la Société des naturalistes luxembourgeois*, 113 : 151–163.
- Bellicaud A. & Pagès D. 2013. *Approche de la répartition du Muscardin, Muscardinus avellanarius, en Auvergne*. Groupe Mammalogique d'Auvergne, 89 p.
- Berg L. & Berg Å. 1998. Nest site selection by the dormouse *Muscardinus avellanarius* in two different landscapes. *Annales Zoologici Fennici*, 35 : 115–122.
- Boireau J. 2019. *Contrat Nature « Micromammifères de Bretagne » 2016- 2019 - Compréhension de la fonctionnalité des milieux à travers le comportement des Micromammifères – Bilan année 04*. Groupe Mammalogique Breton. 9 p.
- Bright P. W. & Morris P. A. 1990. Habitat requirements of dormice *Muscardinus avellanarius* in relation to woodland management in Southwest England. *Biological Conservation* 54 : 307–326.
- Bright P., Morris P. & Mitchell-Jones T. 2006. *The dormouse conservation handbook Second edition*. English Nature. 76 p.
- Bullion S. & Looser A. 2019. *Guidance for using Hazel Dormouse Footprint Tunnels*. Suffolk Wildlife Trust. 2 p.
- Capizzi D., Battistini M. & Amori G. 2002. Analysis of the hazel dormouse, *Muscardinus avellanarius*, distribution in a Mediterranean fragmented woodland. *Italian Journal of Zoology* 69 : 25–31.
- Caublot G. 2016. Le Muscardin, emblème de la haie. *Openfield* 7 : 1-2.
- Chanin P. & Gubert L. 2011. Surveying hazel dormice (*Muscardinus avellanarius*) with tubes and boxes: a comparison. *Mammal Notes, The Mammal Society* : 1-6.
- Chanin P. & Woods M.J. 2003. Surveying Dormice using Nest Tubes. Results and Experience from the South West Dormouse Project. Research report 524. English Nature. 34 p.

- Ehlers S. 2012. The importance of hedgerows for hazel dormice (*Muscardinus avellanarius*) in Northern Germany. *Peckiana* 8 : 41-47.
- Ferretti A. 2013. *Monitoraggio del moscardino nella riserva naturale calanchi di atri*. 34 p.
- GMN. 2021. *Rapport d'activité 2021*. 16 p.
- Gruszczynska J., Grzegorzolka B. & Misiukiewicz W. 2018. Are the forests of the Wigry National Park suitable for the common dormouse *Muscardinus avellanarius*? *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis. Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica* 345(48.4) : 65-72.
- Hansen H. H., Bertelsen S. S., Pertoldi C., Pagh S. & Vilhelmsen H. 2023. Selection of Nest Material and Summer Nest Location by the Hazel Dormouse (*Muscardinus avellanarius*) in the Bidstrup Forests, Denmark. *Biology* 12(1) : 139.
- Juškaitis R. & Remeisis R. 2007. Summer nest sites of the common dormouse *Muscardinus avellanarius* L. in young woodlands of Lithuania. *Polish Journal of Ecology* 55 : 795–803.
- Keller F. 2023. *Přehled metod detekce a monitoringu plchů*. Bachelor's thesis. Department of Zoology, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc. 64 p.
- Lang J., Leonhardt I, Beer S., Bräsel N., Lanz J. & Schmittfull D. 2018. What *Muscardinus avellanarius* like but consultants don't: performance of nest boxes vs. nest tubes for translocations (Rodentia: Gliridae). *Lynx, new series* 49 : 43–48.
- Maclsaac J. 2022. Dormouse acoustics: The use of artificial intelligence to detect and identify European dormouse species. *ARPHA Conference Abstracts* 5 : e84742.
- Malyan J., Lloyd A. & González-Suárez M. 2023. *Microhabitat features associated with occupancy of artificial nestboxes by hazel dormice (Muscardinus avellanarius)*. Preprint. DOI: 10.22541/au.168917240.00179529/v1
- Marchesi P., Blant M. & Capt S. (eds). 2008. *Mammifères de Suisse – Clés de détermination*. Fauna Helvetica 21. CSCF& SSBF Neuchâtel. 294 p.
- Melcore I., Ferrari G. & Bertolino S. 2020. Footprint tunnels are effective for detecting dormouse species. *Mammal Review* 50 : 226–230.
- Ménage M. 2019. Impact de la fragmentation des habitats sur la répartition du Muscardin (*Muscardinus avellanarius*) en Basse-Normandie. *Arvicola*, 21 : 1-5.
- Mills C. A., Godley B. J. & Hodgson D. J. 2016. Take Only Photographs, Leave Only Footprints: Novel Applications of Non-Invasive Survey Methods for Rapid Detection of Small, Arboreal Animals. *PLoS ONE* 11(1): e0146142.
- Moffatt R. 2017. *The status of the hazel dormouse (Muscardinus avellanarius) in warwickshire, coventry & solihull in 2016*. Warwickshire Dormouse Conservation Group, 46 p.
- Newson S.E & Pearce H. 2022. *The potential for acoustics as a conservation tool for monitoring small terrestrial mammals*. JNCC Report 708, 27 p.
- Noulhiane et al. *in press*
- Orienti E. 2020. *Analisi della distribuzione delle popolazioni di micromammiferi arboricoli, attraverso hair-tube, in alcune aree delle provincie di Padova e Treviso*. Thèse, Dip. Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, Università politecnica Delle Marche, 133 p.

- Priestley V., Allen R., Binstead M., Arnold R. & Savolainen V. 2021. Quick detection of a rare species: Forensic swabs of survey tubes for hazel dormouse *Muscardinus avellanarius* urine. *Methods Eco.l Evol.*, 12 : 818–827.
- Resch C., Resch S. & Slotta-Bachmayr L. 2017. Populationsdichte und Habitatnutzung der Haselmaus *Muscardinus avellanarius* in einem Niedermoor. *Joanneum Zoologie*, 14 : 25–36.
- Resch S. & Blatt C. 2017. Assessing small mammal community diversity with minimally invasive field methods - examples from the Nationalpark Gesäuse (Austria). *Conference volume, 6th Symposium for Research in Protected Areas* : 537-540.
- Rolland P. & Caroff C. 2017. *Le Muscardin. Livret d'identification des indices de présence*. Les guides du GMB (1). Sur la piste des Mammifères de Bretagne. Groupe Mammalogique Breton, 23 p.
- Scherbaum-Heberer C., Koppmann-Rumpf B. & Schmidt K.-H. 2017. Various nest box types and their suitability for the common dormouse *Muscardinus avellanarius*. *Apodemus*, 14 : 49-54.
- Sirugue D. 1995. *Les mammifères sauvages du Morvan*. Librairie Mollat Bordeaux, 207 p.
- Sorace A., Bellavita M. & Amori G. 1999. Seasonal differences in nest-boxes occupation by the Dormouse *Muscardinus avellanarius* L. (Rodentia, Myoxidae) in two areas of Central Italy. *Ecologia Mediterranea*, 25 : 125–130.
- Spiroux P. 2023. *Petit guide de la thermo-prospection nocturne, version 1.5*. Groupe mammalogique Normand, 8 p.
- Taberlet P. 1983. Evaluation du rayon d'action moyen de la chouette effraie, *Tyto alba* (Scopoli, 1769), à partir de ses pelotes de réjection. *Revue d'Écologie – La Terre et la Vie*, 38 (2) : 171-177.
- Verbeylen G. 2006. Status and conservation of the common dormouse (*Muscardinus avellanarius*) in the province of Limburg (Flanders, Belgium). *Lutra*, 49 : 75–88.
- Verbeylen G. 2017. How small should the entrance be? Is it possible to let common dormice *Muscardinus avellanarius* enter nest boxes and exclude other species? *Newsletter of The Danish Mammal Society*, 14 : 44-48.
- Vilhelmsen H. 2003. Status of dormice (*Muscardinus avellanarius*) in Denmark. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 49 (suppl. 1) : 139-145.
- Villing N. & Horst L. 2021. Camera-trap assisted monitoring of presence and ecology of the hazel dormouse. *Faunistisch-Ökologische Mitteilungen*, 10 : 79–82.
- Wolton R. 2009. Hazel dormouse *Muscardinus avellanarius* (L.) nest site selection in hedgerows. *Mammalia*, 73(1) : 7-12.
- Worrall P. & Trout R. 2022. A mobile phone based thermal imaging camera to predict nest box occupancy by Edible Dormice (*Glis glis*) and Hazel Dormice (*Muscardinus avellanarius*). *ARPHA Conference Abstracts* 5 : e84750.

SFEPM_2024_2

