

Année 2020

L'ÉCUREUIL ROUX (*SCIURUS VULGARIS*) : BIOLOGIE ET GESTION EN CENTRE DE SOINS

THÈSE

pour obtenir le diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

la Faculté de Médecine de Créteil (UPEC)

le 22 septembre 2020

par

Marion Anne-Lise SAHM

née le 2 mars 1994 à Belfort (Territoire de Belfort)

sous la direction de

M. Pascal ARNÉ

Président du jury :	M. Bijan GHALEH - MARZBAN	Professeur à la Faculté de Médecine de CRÉTEIL
1^{er} Assesseur :	M. Pascal ARNÉ	Maître de Conférences à l'EnvA
2nd Assesseur :	M^{me} Véronica RISCO- CASTILLO	Maître de Conférences à l'EnvA

Liste des membres du corps enseignant

Directeur : Pr Christophe Degueurce

Directeur des formations : Pr Henry Chateau

Directrice de la scolarité et de la vie étudiante : Dr Catherine Colmin

Directeurs honoraires : MM. les Professeurs C. Pilet, B. Toma, A.-L. Parodi, R. Moraillon, J.-P. Cotard, J.-P. Mialot & M. Gogny



Département d'Elevage et de Pathologie des Équidés et des Carnivores (DEPEC)

Chef du département : Pr Grandjean Dominique - Adjoint : Pr Blot Stéphane

Unité pédagogique d'anesthésie, réanimation, urgences, soins intensifs - Dr Fernandez Parra Rocio, Maître de conférences associée - Pr Verwaerde Patrick* Unité pédagogique de clinique équine - Pr Audigé Fabrice - Dr Bertoni Léila, Maître de conférences - Dr Bourzac Céline, Chargée d'enseignement contractuelle - Dr Coudry Virginie, Praticien hospitalier - Pr Denoix Jean-Marie - Dr Giraudet Aude, Praticien hospitalier - Dr Jacquet Sandrine, Praticien hospitalier - Dr Mespoulhès-Rivière Céline, Praticien hospitalier* - Dr Moiroud Claire, Praticien hospitalier - Dr Tanquerel Ludovic, Chargé d'enseignement contractuel Unité pédagogique de médecine et imagerie médicale - Dr Bencheikroun Ghita, Maître de conférences - Pr Blot Stéphane* - Dr Canonne-Guibert Morgane, Maître de conférences - Dr Freiche-Legros Valérie, Praticien hospitalier - Dr Maurey-Guénec Christelle, Maître de conférences	Unité pédagogique de médecine de l'élevage et du sport - Dr Cabrera Gonzales Joaquin, Chargé d'enseignement contractuel - Dr Fontbonne Alain, Maître de conférences - Pr Grandjean Dominique* - Dr Hoummady Sara, Chargée d'enseignement contractuelle - Dr Maenhoudt Cindy, Praticien hospitalier - Dr Nudelmann Nicolas, Maître de conférences - Dr Ribeiro dos Santos Natalia, Praticien hospitalier Unité pédagogique de pathologie chirurgicale - Dr Decambon Adeline, Maître de conférences - Pr Fayolle Pascal - Dr Manassero Mathieu, Maître de conférences - Pr Viateau-Duval Véronique* Discipline : cardiologie - Pr Chetboul Valérie - Dr Saponaro Vittorio, Praticien hospitalier Discipline : ophtalmologie - Dr Chahory Sabine, Maître de conférences Discipline : nouveaux animaux de compagnie - Dr Pignon Charly, Praticien hospitalier - Dr Volait Laetitia, Praticien hospitalier
--	--

Département des Productions Animales et de Santé Publique (DPASP)

Chef du département : Pr Millemann Yves - Adjoint : Pr Dufour Barbara

Unité pédagogique d'hygiène, qualité et sécurité des aliments - Dr Bolnot François, Maître de conférences - Pr Carlier Vincent - Dr Gauthier Michel, Maître de conférences associé - Dr Mûmet Narjes, Chargée d'enseignement contractuelle Unité pédagogique de maladies réglementées, zoonoses et épidémiologie - Dr Crozet Guillaume, Chargé d'enseignement contractuel - Pr Dufour Barbara* - Pr Haddad/Hoang-Xuan Nadia - Dr Rivière Julie, Maître de conférences Unité pédagogique de pathologie des animaux de production - Pr Adjou Karim - Dr Belbis Guillaume, Maître de conférences* - Dr Delsart Maxime, Maître de conférences associé - Pr Millemann Yves - Dr Plassard Vincent, Praticien hospitalier - Dr Ravary-Plumioën Bérangère, Maître de conférences	Unité pédagogique de reproduction animale - Dr Constant Fabienne, Maître de conférences* - Dr Denis Marine, Chargée d'enseignement contractuelle - Dr Desbois Christophe, Maître de conférences (rattaché au DEPEC) - Dr Maufré Vincent, Maître de conférences Unité pédagogique de zootechnie, économie rurale - Dr Arné Pascal, Maître de conférences - Dr Barassin Isabelle, Maître de conférences - Pr Bossé Philippe* - Dr De Paula Reis Alline, Maître de conférences - Pr Grimard-Ballif Bénédicte - Pr Ponter Andrew Rattachée DPASP - Dr Wolgust Valérie, Praticien hospitalier
---	--

Département des Sciences Biologiques et Pharmaceutiques (DSBP)

Chef du département : Pr Desquilbet Loïc - Adjoint : Pr Pilot-Storck Fanny

Unité pédagogique d'anatomie des animaux domestiques - Dr Boissady Emilie, Chargée d'enseignement contractuelle - Pr Chateau Henry - Pr Crevier-Denoix Nathalie - Dr Robert Céline* Unité pédagogique de bactériologie, immunologie, virologie - Pr Boulouis Henri-Jean - Pr Eloit Marc - Dr Lagrée Anne-Claire, Maître de conférences - Pr Le Poder Sophie - Dr Le Roux Delphine, Maître de conférences* Unité pédagogique de biochimie, biologie clinique - Pr Bellier Sylvain* - Dr Deshuilliers Pierre, Maître de conférences - Dr Lagrange Isabelle, Praticien hospitalier Unité pédagogique d'histologie, anatomie pathologique - Dr Cordonnier-Lefort Nathalie, Maître de conférences - Pr Fontaine Jean-Jacques - Dr Laloy Eve, Maître de conférences - Dr Reyes-Gomez Edouard, Maître de conférences* Unité pédagogique de management, communication, outils scientifiques - Mme Conan Muriel, Professeur certifié (Anglais) - Pr Desquilbet Loïc, (Biostatistique, Épidémiologie) - Dr Legrand Chantal, Maître de conférences associée - Dr Marignac Geneviève, Maître de conférences* - Dr Rose Hélène, Maître de conférences associée	Unité de parasitologie, maladies parasitaires, dermatologie - Dr Blaga Radu, Maître de conférences (rattaché au DPASP) - Dr Briand Amaury, Assistant d'Enseignement et de Recherche Contractuel (rattaché au DEPEC) - Dr Cochet-Faivre Noëlle, Praticien hospitalier (rattachée au DEPEC) - Pr Guillot Jacques* - Dr Polack Bruno, Maître de conférences - Dr Risco-Castillo Veronica, Maître de conférences Unité pédagogique de pharmacie et toxicologie - Dr Kohlhauser Matthias, Maître de conférences - Dr Perrot Sébastien, Maître de conférences* - Pr Tissier Renaud Unité pédagogique de physiologie, éthologie, génétique - Dr Chevallier Lucie, Maître de conférences (Génétique) - Dr Crépeaux Guillemette, Maître de conférences (Physiologie, Pharmacologie) - Pr Gilbert Caroline (Ethologie) - Pr Pilot-Storck Fanny (Physiologie, Pharmacologie) - Pr Turet Laurent (Physiologie, Pharmacologie)* - Dr Titeux Emmanuelle (Ethologie), Praticien hospitalier Discipline : éducation physique et sportive - M. Philips Pascal, Professeur certifié
---	---

* responsable d'unité pédagogique

Professeurs émérites : Pr Combrisson Hélène, Pr Enriquez Brigitte, Pr Panthier Jean-Jacques, Pr Paragon Bernard.

Remerciements

A M. Bijan GHALEH – MARZBAN, Président du Jury de cette thèse, Professeur à la Faculté de Médecine de Créteil,

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse,
Hommage respectueux.

A M. Pascal Arné, Maître de conférences à l'EnvA,

Pour m'avoir orientée vers ce sujet passionnant, pour sa grande disponibilité tout au long de ce projet, pour ses corrections et ses conseils,
Sincères remerciements.

A M^{me} Véronica Risco-Castillo, Maître de conférences à l'EnvA,

Pour avoir accepté de participer à ce projet, pour son implication, ses corrections et ses conseils,
Sincères remerciements.

A M^{me} Béatrice Vavasseur,

Pour sa disponibilité et le partage de ses connaissances, de son expérience et de ses photos,
Sincères remerciements.

A Sylvain Perrot,

Pour le partage de ses photos et son aide pour la correction,
Merci

A Xavier Locque,

Pour le partage de ses photos,
Merci

Et à mes parents et à mon frère,

Pour leur soutien et leur aide tout au long de ce projet,
Merci

Table des matières

Liste des figures.....	7
Liste des tableaux	9
Liste des annexes	11
Liste des abréviations.....	13
Introduction	15
Première partie : Biologie de l'écureuil roux.....	17
1. Écureuil roux : Systématique, répartition, anatomie.....	17
A. <i>Systématique : sa place dans le règne animal</i>	17
a. La classe des Mammifères	17
b. La sous-classe des Euthériens	17
c. L'ordre des Rongeurs.....	17
d. La famille des Sciuridés	17
e. La sous-famille des Sciurinés	18
f. La tribu des Sciurini.....	18
g. Le genre Sciurus	18
h. L'espèce Sciurus vulgaris	19
B. <i>Anatomie de l'écureuil roux</i>	21
a. La corpulence	21
• L'âge	21
• L'habitat	22
• La saison	23
b. Le pelage	24
c. La queue	25
d. Les organes des sens	25
• L'odorat.....	25
• La vue	25
• L'ouïe	25
• Le toucher	25
e. Les glandes.....	26
f. Le système digestif	26
g. Le système reproducteur	26
h. Le squelette et les membres	27
• Le squelette	27
• Les membres thoraciques.....	27
• Les membres pelviens	27
• Les griffes	27
C. <i>Répartition de l'écureuil roux</i>	27
a. L'écureuil roux dans le monde	27
b. L'écureuil roux en France.....	28
2. Écureuil roux : écologie et éthologie	29
A. <i>Activité et habitat</i>	29
a. Habitat.....	29
b. Dynamique de population	32
• La natalité	32
• La mortalité	32
□ Les conditions climatiques défavorables	33
□ Le déficit en ressources	33
□ L'effet de la reproduction	33
□ La prédation	33

□	Transmission des maladies.....	33
•	Les départs et les arrivées.....	34
□	La compétition inter et intra-spécifique.....	34
□	Les ressources du milieu.....	34
□	La taille du milieu	35
c.	Domaine vital et hiérarchie.....	36
•	Variation en fonction de la saison.....	36
•	Variation en fonction du sexe.....	36
•	Variation en fonction de l'habitat.....	37
d.	Activité individuelle et déplacements.....	37
•	La journée d'un écureuil.....	37
•	Les déplacements d'un écureuil	38
e.	Communication	39
f.	Les traces de son passage	39
•	Les nids	39
•	Les restes de repas	40
•	Les empreintes	41
•	Les cris	41
B.	Reproduction.....	42
a.	La période de reproduction	42
b.	Le comportement de reproduction	42
c.	La réussite de reproduction et la fertilité	43
d.	De la naissance au sevrage.....	43
•	Soins aux jeunes.....	44
•	Investissement de la mère	45
e.	La dispersion.....	46
C.	Alimentation	47
a.	La nourriture de l'écureuil roux.....	47
b.	Le comportement alimentaire.....	47
•	Comment un écureuil s'alimente-t-il ?.....	47
•	Pourquoi accumuler des ressources ?.....	47
□	A court terme : rendre les ressources disponibles toute l'année	47
□	A long terme : Améliorer leur longévité	48
•	Comment les cacher ?.....	48
3.	Principales affections rencontrées et autres menaces pour l'espèce.....	49
A.	Principales affections rencontrées :.....	49
a.	Maladies d'origine infectieuse	49
•	Parasitisme externe	49
□	Pulicose.....	50
□	Phtiriose	50
□	Infestation par les tiques	50
□	Acariose	50
•	Parasitisme interne	50
□	Coccidiose.....	50
□	Helminthose	51
□	Toxoplasmose.....	52
□	Hepatozoonose	54
□	Infection par <i>Babesia</i> -like.....	54
•	Infections d'origine virale	54
□	Poxvirose	54
□	Adénovirose	56
□	Rotavirose	57

□	Paramyxovirose	57
•	Infections d'origine bactérienne	58
□	Dermatite exsudative fatale liée à <i>Staphylococcus aureus</i>	58
□	Infection par <i>Borrelia burgdorferi</i>	59
□	Infection par <i>Bordetella bronchiseptica</i>	59
□	Infection par <i>Campylobacter</i>	60
□	Infection par <i>Mycobacterium leprae</i> et <i>Mycobacterium lepromatosis</i>	60
□	Infection par <i>Bartonella washoensis</i>	60
□	Infection par <i>Dermatophilus congolensis</i>	61
•	Infections d'origine fongique	61
□	Infection par <i>Candida albicans</i>	61
b.	Autres affections	62
•	Maladie buccale et malocclusion	62
•	Mélanome malin	62
•	Carences alimentaires	62
B.	Autres menaces	62
a.	Prédateurs	62
•	Prédateurs sauvages	62
•	Prédateurs domestiques	63
b.	Menaces d'origine anthropique	64
•	Menaces liées à la proximité avec l'homme	64
•	Menaces liées à la modification de son habitat	64
□	La fragmentation de l'habitat	64
□	La modification des forêts	66
□	La pollution	66
c.	Les espèces envahissantes	66
•	Les espèces d'écureuils envahissantes en Europe et en France	66
□	Les espèces envahissantes en France	66
□	Les espèces envahissantes en Europe	67
•	Différencier l'écureuil roux d'autres espèces d'écureuils	67
•	L'écureuil de Pallas comme menace pour l'écureuil roux	70
•	L'écureuil gris comme menace pour l'écureuil roux	70
□	Première hypothèse : la compétition inter-spécifique	72
□	Deuxième hypothèse : La transmission de maladies et de parasites	75
□	Troisième hypothèse : Une différence de métabolisme	77
4.	Les problématiques de la conservation de l'écureuil roux et les solutions envisagées	78
A.	Des solutions face aux menaces	78
a.	Comment limiter l'expansion des maladies létales ?	78
b.	Comment limiter la prédation par le chat ?	78
c.	Comment limiter les effets de la modification de son habitat	79
•	Favoriser la connexion entre les fragments d'habitat	79
•	La gestion des forêts	79
d.	Comment lutter contre les effets liés aux espèces envahissantes	80
•	L'écureuil de Pallas	80
•	L'écureuil gris	80
□	Les programmes d'éradication	80
□	La gestion des forêts	80
□	Un prédateur de l'écureuil gris : une solution ?	81
□	Supplémentation en nourriture	81
□	Immunité naturelle ou vaccin contre le SQPV	81
□	Des études visant à recourir à un contraceptif	82

□ Des mesures de prévention	83
B. Les difficultés de renforcer des populations déjà en place	84
a. La génétique à prendre en compte	84
b. L'effet de l'écureuil roux sur le lieu de relâcher	84
c. Prendre en compte les maladies	85
d. Prendre en compte l'habitat	85
Deuxième partie : Gestion en centre de soins	87
1. Réglementation concernant l'écureuil roux	87
A. <i>Le statut juridique de l'écureuil roux</i>	<i>87</i>
B. <i>La réglementation concernant les centres de soins accueillant des animaux sauvages</i>	<i>88</i>
2. La prise en charge en centre de soins	88
A. <i>L'accueil de l'animal</i>	<i>89</i>
a. La découverte d'un animal	89
b. L'arrivée au centre	91
• Anamnèse	91
• Examen clinique	91
□ Contention	91
□ Diagnose du sexe, de l'âge et de l'espèce	91
□ Évaluation de l'état de l'animal	93
□ Prise en charge d'urgence	93
B. <i>Les soins</i>	<i>96</i>
a. L'habitat et l'hygiène	96
• Les jeunes	97
□ Avant l'ouverture des yeux	97
□ Après l'ouverture des yeux	98
• Les adultes	100
□ Juste après le sevrage	100
□ Cas d'un adulte blessé	100
□ Enrichissement et hygiène	101
b. L'alimentation	102
• Les jeunes	102
□ Avant sevrage	102
□ Le sevrage	109
• L'alimentation des adultes	110
c. Principales affections rencontrées en captivité	111
• Troubles liés à l'alimentation	111
□ Maladies gastro-intestinales	112
□ Carences alimentaires	116
□ Malocclusion	117
• Troubles respiratoires	117
□ Bronchopneumonie par fausse déglutition	117
□ Bronchopneumonie infectieuse	119
• Affections cutanées	119
□ Squirrel poxvirose	119
□ Dermate exsudative fatale	120
□ Ectoparasites	120
□ Réactions cutanées	121
• Traumatismes	121
□ Plaies	121
□ Abscess	121
□ Traumatisme crânien ou spinal	121

□	Fractures	122
•	Autres troubles.....	122
□	Contacts avec l'homme	122
□	Paraphimosis	122
□	Empoisonnement	122
C.	La réhabilitation	124
a.	Les critères	124
b.	L'évaluation des critères	124
•	Observation des comportements	124
•	Quantification alimentaire et condition physique	125
•	Santé	125
c.	La préparation de l'animal	126
•	L'habitat	126
•	Alimentation	127
D.	Le relâcher	127
a.	Choix du site	127
b.	Choix du moment.....	127
c.	Le transport.....	128
d.	Les méthodes	128
•	Le soft-release ou relâcher progressif.....	128
•	Le hard-release ou relâcher direct.....	129
Conclusion.....		131
Liste des références bibliographiques		133
Annexes:		143

Liste des figures

Figure 1 : Arbre phylogénétique du genre <i>Sciurus</i> (Grill <i>et al.</i> , 2009).....	19
Figure 2 : Répartition des sous-espèces françaises datant de 1985 (production personnelle d'après (Vaubourdolle, 2002).....	20
Figure 3 : Masse corporelle des écureuils en fonction de l'âge (Wauters et Dhondt, 1989a)	21
Figure 4 : Masse corporelle des écureuils en fonction de l'abondance de nourriture dans la forêt de conifères et de feuillus étudiées (Wauters et Dhondt, 1989a).....	22
Figure 5 : Masse corporelle des écureuils en fonction du pourcentage de temps passé à chercher de la nourriture, dans la forêt de conifères étudiée (triangles noirs), et dans la forêt de feuillus étudiée (ronds noirs) (Wauters et Dhondt, 1989a).....	23
Figure 6 : Masse corporelle des écureuils (carré noir : mâles, ronds blancs : femelles) en fonction des mois (Wauters et Dhondt, 1989a)	24
Figure 7 : Répartition de l'écureuil roux dans le monde d'après The IUCN Red List of Threatened Species (La liste rouge UICN (Union internationale pour la conservation de la nature) des espèces menacées) (en jaune : lieu de résidence ; en violet : lieu de résidence après introduction) (Shar <i>et al.</i> , 2016)	28
Figure 8 : Répartition de l'écureuil roux en France sur la période 2005-2011, en fonction des domaines biogéographiques, d'après INPN (Inventaire national du patrimoine naturel) (MNHN, 2012).....	28
Figure 9 : Schéma résumant les différents facteurs de la dynamique des populations d'écureuils roux (figure personnelle).	35
Figure 10 : Nids d'écureuil reconnaissable par l'ouverture de côté (à gauche) et les feuilles restées sur les branches utilisées (à droite) © D. Baillie (Chapuis <i>et al.</i> , 2012)	40
Figure 11 : Différences entre des cônes d'épicéas mangés par différents animaux (écureuil roux à gauche, mulot au centre, pic épeiche à droite) (Parc des Ecrins, 2016)	41
Figure 12 : Noisettes mangées par un écureuil roux (Parc des Ecrins, 2016).....	41
Figure 13 : Différentes phases de la période de reproduction chez les écureuils roux (figure personnelle).	42
Figure 14 : Étapes du développement des jeunes de la naissance au sevrage (Figure personnelle d'après (Lurz <i>et al.</i> , 2005 ; S. J. Casey, 2011 ; Chapuis <i>et al.</i> , 2012))	44
Figure 15 : Illustration de la présence des pinceaux de poils au-dessus des oreilles à gauche et de l'absence des pinceaux de poils au-dessus des oreilles à droite © Xavier Locque	68
Figure 16 : Écureuil de Corée avec ses rayures caractéristiques © C.Huchery (Chapuis <i>et al.</i> , 2012)	68

Figure 17 : Écureuil de Pallas des Alpes maritimes © F. Moutou (Chapuis <i>et al.</i> , 2012).....	69
Figure 18 : Écureuils gris photographiés à New York, à gauche illustration du pelage du dos et des flancs, à droite illustration du ventre blanc © Sylvain Perrot	70
Figure 19 : Déclin de l'écureuil roux et expansion de l'écureuil gris au Royaume-Uni d'après Red Alert NW, 2003 (Chapuis <i>et al.</i> , 2012) (UK Squirrel distribution : Distribution des écureuils au Royaume Uni ; Reds = roux ; Greys = gris ; None = aucun)	71
Figure 20 : Répartition des centres de soins de faune sauvage en France pouvant accueillir des écureuils roux (en fonction du nombre de centres de soins présents par région) (Réseau centres de soins faune sauvage, 2020).	89
Figure 21 : Diagnose de sexe chez les juvéniles (mâle à gauche, femelle à droite) (Le Barzic, 2013)	92
Figure 22 : Couveuse et cage de petite taille adaptées pour les juvéniles non sevrés ©Béatrice Vavasseur	97
Figure 23 : Cage intermédiaire en intérieur, pour les jeunes en cours de sevrage et les adultes blessés ©Béatrice Vavasseur.....	99
Figure 24 : Boîtes construites pour constituer le nid artificiel de l'écureuil (voir Annexe 2 pour le plan de construction) ©Béatrice Vavasseur.....	101
Figure 25 : Éléments permettant de suspecter un problème lié à l'alimentation (figure personnelle d'après (Casey, 2002 ; Casey et Casey, 2012 ; S. J. Casey, 2020b ; A. M. Casey, 2020 ; S. J. Casey, 2020a)).....	106
Figure 26 : Synthèse de la prise en charge des jeunes écureuils par rapport à l'habitat, l'hygiène et l'alimentation (figure personnelle).....	109
Figure 27 : Conduite à tenir en cas de signes digestifs (Figure personnelle d'après (Casey et Goldthwait, 2012)).....	114
Figure 28 : Volière extérieure utilisée pour les animaux en cours de réhabilitation ©Béatrice Vavasseur	126

Liste des tableaux

Tableau 1 : Evolution de l'activité, de la disponibilité des ressources et intégration des périodes de reproduction dans l'année des écureuils roux (case rouge : demande forte en énergie, case orange : demande intermédiaire en énergie, case verte : faible demande en énergie) dans une forêt de conifères d'après plusieurs études de Wauters et Dhondt de 1989 et 1985 en Belgique et l'étude de Laguet de 2012 en Savoie (Wauters et Dhondt, 1985 ; Wauters et Dhondt, 1989a ; Laguet, 2012)	30
Tableau 2 : Evolution de l'activité, de la disponibilité des ressources et intégration des périodes de reproduction dans l'année des écureuils roux (case rouge : demande forte en énergie, case orange : demande intermédiaire en énergie, case verte : faible demande en énergie) dans une forêt de feuillus d'après plusieurs études de Wauters et Dhondt de 1989 et 1985 en Belgique et l'étude de Laguet de 2012 en Savoie (Wauters et Dhondt, 1985 ; Wauters et Dhondt, 1989a ; Laguet, 2012)	31
Tableau 3 : Résumé des principaux parasites connus chez les écureuils roux d'Europe (¹ Humair et Gern, 1998 ; ² Shimalov et Shimalov, 2002 ; ³ Bertolino <i>et al.</i> , 2003 ; ⁴ Simpson <i>et al.</i> , 2006 ; ⁵ Kvác <i>et al.</i> , 2008 ; ⁶ LaRose <i>et al.</i> , 2010 ; ⁷ Jokelainen et Nylund, 2012 ; ⁸ Romeo <i>et al.</i> , 2013 ; ⁹ Simpson <i>et al.</i> , 2013 ; ¹⁰ Pisanu <i>et al.</i> , 2014 ; ¹¹ Kik <i>et al.</i> , 2015 ; ¹² Romeo <i>et al.</i> , 2015 ; ¹³ Choe <i>et al.</i> , 2016 ; ¹⁴ Hofmannová <i>et al.</i> , 2016 ; ¹⁵ Shimalov, 2016 ; ¹⁶ Prediger <i>et al.</i> , 2017 ; ¹⁷ Blackett <i>et al.</i> , 2018)	53
Tableau 4 : Résumé des virus les plus couramment retrouvés chez l'écureuil roux d'Europe (¹ D. J. Everest <i>et al.</i> , 2010a ; ² D. J. Everest <i>et al.</i> , 2010b ; ³ D. J. Everest <i>et al.</i> , 2012a ; ⁴ D. J. Everest <i>et al.</i> , 2012b ; ⁵ Duff <i>et al.</i> , 2007 ; ⁶ Sainsbury <i>et al.</i> , 2008 ; ⁷ McInnes <i>et al.</i> , 2009 ; ⁸ Carroll <i>et al.</i> , 2009 ; ⁹ Atkin <i>et al.</i> , 2010 ; ¹⁰ LaRose <i>et al.</i> , 2010 ; ¹¹ Peters <i>et al.</i> , 2011 ; ¹² Martínez-Jiménez <i>et al.</i> , 2011 ; ¹³ Collins <i>et al.</i> , 2014 ; ¹⁴ Chantrey <i>et al.</i> , 2014 ; ¹⁵ Fiegna <i>et al.</i> , 2016 ; ¹⁶ Wibbelt <i>et al.</i> , 2017 ; ¹⁷ Abendroth <i>et al.</i> , 2017 ; ¹⁸ Everest <i>et al.</i> , 2018 ; ¹⁹ Wernike <i>et al.</i> , 2018)	58
Tableau 5 : Différences entre la poxvirose de l'écureuil et la dermatite exsudative fatale liée au <i>Staphylococcus aureus</i> (McInnes <i>et al.</i> , 2009 ; Carroll <i>et al.</i> , 2009 ; Collins <i>et al.</i> , 2014 ; Fiegna <i>et al.</i> , 2016 ; Wibbelt <i>et al.</i> , 2017)	59
Tableau 6 : Diagnose d'âge des jeunes d'après les étapes de développement après la naissance et le poids (Lurz <i>et al.</i> , 2005 ; S. J. Casey, 2011 ; Chapuis <i>et al.</i> , 2012 ; Le Barzic, 2013)	92
Tableau 7 : Différentes molécules utilisables sur les écureuils, doses et fréquences extrapolées des études faites sur les rats de laboratoire (Blackett, 2017)	94
Tableau 8 : Composition de plusieurs lactoreplaceurs (non recomposés et dilués de moitié) et de lait entier comparée au lait maternel d'écureuil (Stocker, 2005 cité par Le Barzic, 2013)	103
Tableau 9 : Quantité et fréquence des repas en fonction de l'âge (Bergman-Althouse, 2011 ; Casey et Goldthwait, 2011a ; Le Barzic, 2013 ; Blackett, 2017)	107
Tableau 10 : Principaux anti-parasitaires et antibiotiques utilisés sur les écureuils roux en centre de soins (Le Barzic, 2013 ; Blackett, 2017)	123

Liste des annexes

Annexe 1 : Plan de cage intermédiaire pré-sevrage (A. M. Casey, 2011)	143
Annexe 2 : Plan de boîte servant à substituer un nid pour écureuil (Issacs, 2002)	145
Annexe 3 : Tableau récapitulatif des affections les plus couramment rencontrées en captivité et leur traitement (Stocker, 2005 ; Casey et Goldthwait, 2010 ; LaRose <i>et al.</i> , 2010 ; Bergman-Althouse, 2011 ; Casey et Goldthwait, 2011b ; Le Barzic, 2013 ; Casey et Goldthwait, 2013 ; Blackett, 2017 ; Everest <i>et al.</i> , 2018)	147

Liste des abréviations

ADN : acide désoxyribonucléique

BID : *bis in die* (deux fois par jour, pour l'administration de médicaments)

Chuv-FS : Centre hospitalier universitaire vétérinaire – Faune sauvage

CITES : Convention on International Trade of Endangered Species (Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction)

IM : intramusculaire

INPN : Inventaire national du patrimoine naturel

PCR : Polymerase Chain Reaction (réaction en chaîne par polymérase)

qPCR : quantitative Polymerase Chain Reaction (réaction en chaîne par polymérase quantitative)

PO : *per os* (voie orale)

SC : sous-cutanée

SID : *semel in die* (une fois par jour, pour l'administration de médicaments)

SQPV : Squirrel *poxvirus* (*Poxvirus* de l'écureuil)

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

Introduction

L'écureuil roux européen (*Sciurus vulgaris*), petit mammifère arboricole présent en France, voit ses populations en Grande-Bretagne et en Irlande décliner rapidement depuis le 20^{ème} siècle. Cette tendance préoccupante pour les populations locales pourrait mener à leur disparition à terme. Plus récemment, on observe le même schéma en Italie. Une des menaces principales qui pèse sur l'écureuil roux est maintenant identifiée comme étant l'écureuil gris d'Amérique (*Sciurus carolinensis*), espèce envahissante importée en Angleterre à partir de 1876, puis en Irlande à partir de 1913 et enfin en Italie en 1948. Des programmes sont déjà en place dans ces pays afin de faire réduire cette menace. La France exempte d'écureuil gris n'est pas à l'abri d'une extension de cette espèce depuis l'Italie qui pourrait impacter sévèrement l'écureuil autochtone dont les effectifs demeurent faibles dans l'hexagone. Toutefois les menaces principales qui pèsent actuellement sur l'écureuil roux sont le fait de l'homme.

L'objectif de cette thèse est de faire un point sur les connaissances dont nous disposons sur la biologie de l'écureuil roux et sur les conséquences des menaces présentes et futures qui pèsent sur cette espèce. Ces informations sont primordiales pour mettre en place des solutions efficaces pour la conservation de cette espèce et pour une prise en charge raisonnée en centre de soins.

La première partie de ce travail sera consacrée à la biologie de l'écureuil roux : nous aborderons les connaissances générales sur sa systématique, son anatomie, l'écologie de l'espèce et sa répartition géographique. Puis nous aborderons les périls qui la menacent, leurs conséquences et les solutions mises en place ou envisagées. Dans une deuxième partie, nous évoquerons la prise en charge raisonnée de l'écureuil roux en centre de soins tenant compte de ses particularités physiologiques et écologiques.

Première partie : Biologie de l'écureuil roux

La biologie représente « l'ensemble des sciences qui étudient les espèces vivantes et les lois de la vie » (Larousse, 2020a). Ainsi, après avoir placé l'écureuil roux européen au sein du règne animal, nous allons nous intéresser à son anatomie, à sa physiologie, à l'écologie et à l'éthologie de l'espèce. Ceci nous conduira à détailler les menaces qui pèsent sur l'écureuil roux et à parler des problématiques de sa conservation.

1. Écureuil roux : Systématique, répartition, anatomie

A. Systématique : sa place dans le règne animal

Pour replacer l'écureuil roux au sein du règne animal, on s'intéresse à sa classification. Nous allons passer en revue les différents taxons auquel appartient l'écureuil roux :

a. La classe des Mammifères

C'est un animal homéotherme qui possède des phanères et des mamelles (Vaubourdolle, 2002 ; Lurz *et al.*, 2005).

b. La sous-classe des Euthériens

Le mâle et la femelle présentent des appareils génitaux bien différenciés et la femelle gestante possède un placenta (Vaubourdolle, 2002 ; Lurz *et al.*, 2005).

c. L'ordre des Rongeurs

Il a une seule paire d'incisives, à croissance continue, à chaque mâchoire (Vaubourdolle, 2002 ; Lurz *et al.*, 2005).

Les rongeurs forment un ordre très diversifié de mammifères. Leur reproduction très rapide, leur procure une grande capacité d'adaptation à différents milieux (Vaubourdolle, 2002). Les différentes approches utilisées pour tenter d'en faire la classification n'ont pas permis d'obtenir des résultats reconnus par tous. En effet, l'approche morphologique (Ercoli *et al.*, 2019) génère des répartitions totalement différentes des données génétiques portant sur le génome mitochondrial (Blanga-Kanfi *et al.*, 2009). L'ordre des rongeurs comporte entre autres la famille des Sciuridés.

d. La famille des Sciuridés

Cette famille regroupe les écureuils, les marmottes (*Marmota spp.*) et les chiens de prairie (*Cynomys spp.*). Ce sont les seuls rongeurs à présenter deux prémolaires sur chaque demi-mâchoire supérieure (Louarn et Quéré, 2011).

La classification présentée ici résulte d'études génétiques qui ne confirment pas l'ancienne classification différenciant les écureuils terrestres et arboricoles d'une part et les écureuils volants dits « vrais » qui comportent 15 genres, d'autre part. En effet, des données moléculaires suggèrent que les écureuils volants dérivent des écureuils arboricoles (Steppan *et al.*, 2004).

En France, deux espèces de Sciuridés sont représentées : l'écureuil roux (*Sciurus vulgaris*) et la marmotte des Alpes (*Marmota marmota*). Deux espèces envahissantes sont apparues en France : l'écureuil à ventre rouge (*Callosciurus erythraeus*) et le tamia de Sibérie ou écureuil de Corée (*Tamias sibiricus*). Une espèce envahissante est une espèce « introduite par l'homme en dehors de son aire de répartition ou de dispersion naturelle, qui s'établit (reproduction sans intervention humaine) et qui étend son aire de distribution (avec en général une augmentation des effectifs des populations) » (Muséum national d'Histoire naturelle, 2003). Ces introductions sont préoccupantes, car elles ont des conséquences non négligeables à la fois d'ordre écologique et économique (Chapuis et Marmet, 2006).

Enfin, la famille des Sciuridés regroupe cinq sous-familles : Ratufinés, Sciurillinés, Callosciurinés, Xérinés et Sciurinés.

e. La sous-famille des Sciurinés

Cette sous-famille regroupe le plus récent ancêtre commun aux Sciurini (écureuils terrestres et arboricoles) et aux Pteromyini (écureuils volants) et tous leurs descendants (Steppan *et al.*, 2004 ; Thorington et Hoffmann, 2005).

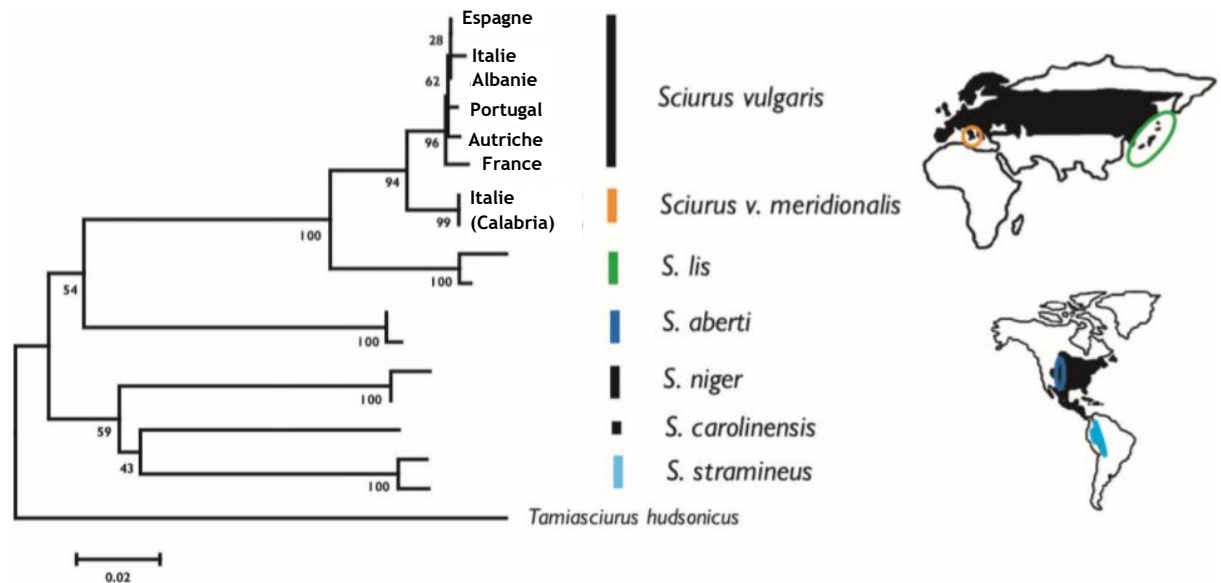
f. La tribu des Sciurini

Cette tribu regroupe les écureuils terrestres et arboricoles (Steppan *et al.*, 2004 ; Thorington et Hoffmann, 2005).

g. Le genre *Sciurus*

Les individus du genre *Sciurus* sont adaptés aux forêts tempérées. Ils sont présents en Europe, Amérique du Nord et centrale, ainsi qu'au Pérou. Ceux-ci sont différenciés génétiquement en deux groupes : les lignées américaines, qui comprennent les écureuils vivant en Amérique et les lignées eurasiatiques qui rassemblent les écureuils d'Europe. Ainsi, tandis que *S. vulgaris* sensus lato peut-être retrouvé en Espagne (Spain), Italie (Italy), Albanie (Albania), Portugal (Portugal), Autriche (Austria) et France (France), *S. vulgaris meridionalis* se retrouve uniquement dans la région de Calabre (Calabria) en Italie. D'autres espèces peuvent être retrouvées en Asie (*S. lis*), en Amérique du Nord et Amérique Centrale (*S. aberti*, *S. niger*, *S. carolinensis*) et au Pérou (*S. stramineus*) (Figure 1). Les écureuils d'Europe constituent un groupe monophylétique qui se subdivise en plusieurs espèces et sous-espèces en partie détaillées plus loin (Oshida et Masuda, 2000).

Figure 1 : Arbre phylogénétique du genre *Sciurus* (Grill et al., 2009)



h. L'espèce *Sciurus vulgaris*

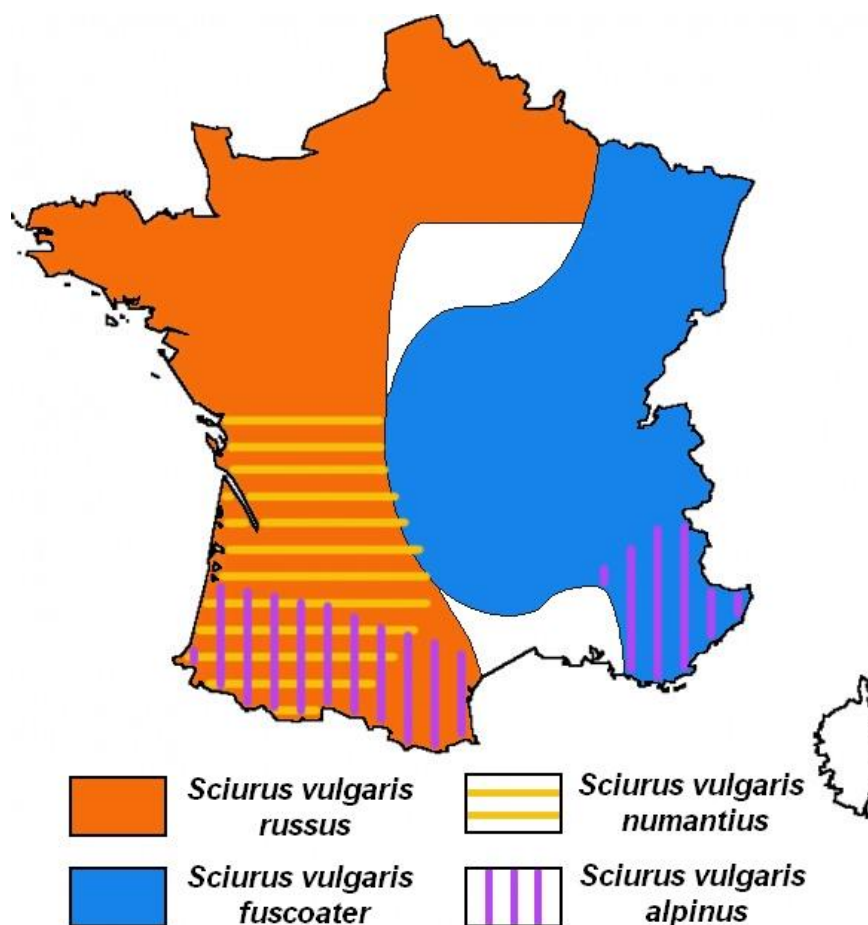
Sciurus vulgaris, l'écureuil roux, s'intègre parmi une vingtaine d'espèces du genre *Sciurus* (Thorington et Hoffmann, 2005).

Il existe plus de 40 sous-espèces (ou variétés) qui se distinguent par le pelage et la morphologie des individus. Cette diversité s'explique par le fait que les écureuils sont des animaux arboricoles. Lors de la dernière période glaciaire, ceux-ci se sont réfugiés dans les zones où les forêts ont persisté (Italie, région ibérique). Cependant, les populations de ces deux zones ne présentent pas de variabilité génétique plus importante qu'ailleurs. Ce constat pourrait s'expliquer par une recolonisation de ces territoires par des écureuils venant d'Asie et des Balkans, ou bien par le fait que des isollements des populations ont créé des goulots d'étranglement, à l'origine d'une diminution de cette diversité génétique (Dozières et al., 2012).

En France, on différencie quatre sous-espèces (ou variétés) sur le plan morphologique (Vaubourdolle, 2002 ; Chapuis et Marmet, 2006), pouvant résulter d'adaptations aux conditions locales (Figure 2) (Dozières et al., 2012) :

- *Sciurus vulgaris alpinus*, présent dans les Pyrénées et les Alpes du sud. Son extrémité rostrale est plus courte et plus large que chez les autres.
- *Sciurus vulgaris fuscoater*, présent dans les Alpes et le Massif central. Sa couleur est rousse, teintée de gris sur les flancs et parfois sur le dos.
- *Sciurus vulgaris russus*, présent dans la moitié occidentale et le nord de la France. Il est roux vif en été et plus terne en hiver.
- *Sciurus vulgaris numantius*, présent dans la partie occidentale des Pyrénées et dans le sud-ouest. Ce sont des individus clairs.

Figure 2 : Répartition des sous-espèces françaises datant de 1985 (production personnelle d'après (Vaubourdolle, 2002))



La répartition présentée ci-dessus date de 1985, actuellement on ne différencie généralement pas ces sous-espèces. On présentera une répartition plus récente de *Sciurus vulgaris* en France par la suite (cf. Partie répartition).

Cette classification des sous-espèces basée sur la couleur du pelage et la morphologie des individus a été remise en cause. Concernant les lignées eurasiennes décrites plus haut, une étude phylogénétique utilisant des marqueurs de l'ADN mitochondrial et nucléaire a montré qu'un seul groupe diffère significativement des autres, mettant ainsi en avant seulement deux phylogroupes. Celui-ci est présent en Italie du Sud, dans la région de Calabre (*Sciurus vulgaris meridionalis*) (Figure 1). Cette différenciation peut être expliquée par le fait que l'écureuil est un animal sensible aux barrières physiques (Grill *et al.*, 2009). En effet, une étude effectuée sur les populations des écureuils présentes dans le sud des Alpes a montré que des obstacles tels qu'une vallée déboisée, une rivière, une zone urbanisée ou cultivée, pouvaient limiter les flux génétiques entre des sites voisins (Trizio *et al.*, 2005). Une autre étude, basée sur la morphologie du crâne, confirme la différenciation de *Sciurus vulgaris meridionalis* et de deux autres sous-espèces (*Sciurus vulgaris fuscoater* et *Sciurus vulgaris italicus*) (Amori *et al.*, 2014).

B. Anatomie de l'écureuil roux

a. La corpulence

Les données varient entre les auteurs car les paramètres abordés présentent une certaine variabilité. Sont présentées les dimensions des individus adultes.

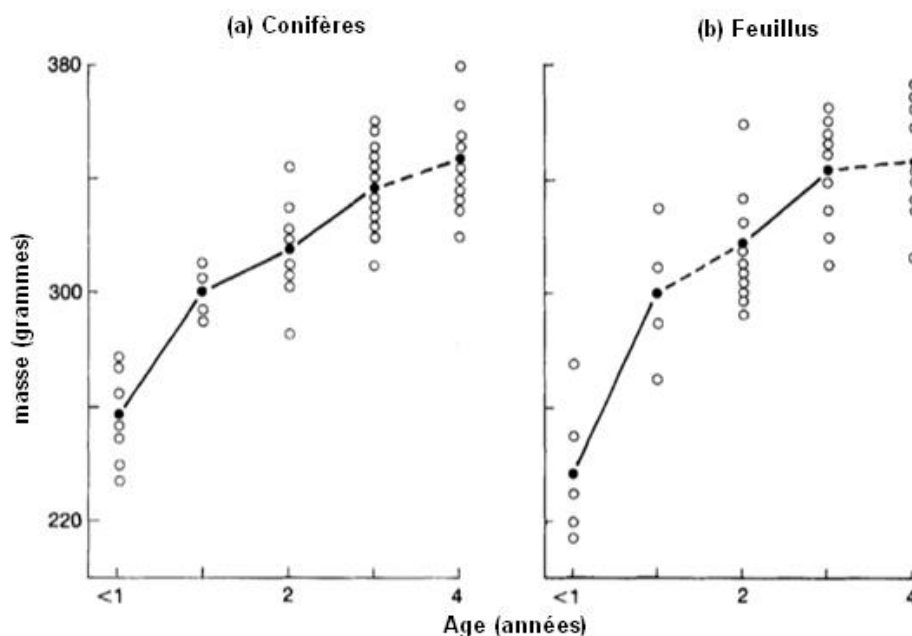
La longueur du corps et de la tête varie entre 195 et 250 mm selon les auteurs. La longueur de la queue va de 140 à 205 mm (Lurz *et al.*, 2005 ; Chapuis et Marmet, 2006).

La masse corporelle des individus oscille entre 203 et 500 g chez l'adulte (Vaubourdolle, 2002 ; Chapuis et Marmet, 2006). Le mâle est généralement plus lourd que la femelle. La masse corporelle évolue en fonction de plusieurs paramètres : les dimensions corporelles, l'âge, la condition physique, l'habitat et la saison. Elle est importante à considérer car non seulement la couche graisseuse va permettre à l'écureuil de passer les périodes de froid, mais aussi elle joue un rôle déterminant dans la hiérarchie des individus (*cf.* partie Domaine vital et hiérarchie). De plus, une femelle ne pourra se reproduire que si elle atteint un certain développement corporel (*cf.* partie Reproduction).

- L'âge

Dans l'étude de Wauters et Dhondt (1989a), les individus subadultes (jeunes sevrés n'ayant pas encore atteint la maturité sexuelle) sont sensiblement plus légers que les adultes. Les adultes âgés de deux ans sont moins lourds que ceux de plus de trois ans semblant indiquer un accroissement de la masse corporelle jusqu'à ce dernier âge environ (Figure 3).

Figure 3 : Masse corporelle des écureuils en fonction de l'âge (Wauters et Dhondt, 1989a)



Ceci est à relier également au fait que les individus changent de statut hiérarchique et qu'un individu dominant va disposer d'un domaine vital plus vaste, mieux adapté à la recherche de nourriture ce qui pourra, en retour, avoir un effet positif sur sa masse corporelle (Wauters et Dhondt, 1989a). L'âge a donc une influence sur la taille et la masse corporelle de l'individu surtout pendant les trois premières années de vie.

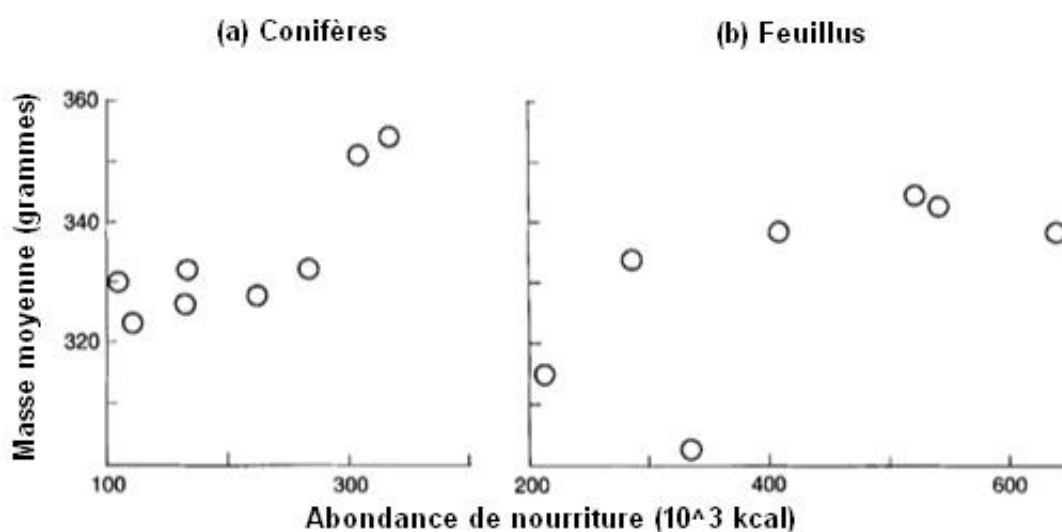
- *L'habitat*

L'habitat des écureuils sera détaillé plus tard. On peut d'ores et déjà différencier les milieux dans lesquels évolue l'écureuil : les forêts de conifères et les forêts de feuillus. Les forêts mixtes se caractérisent par la diversité de leurs essences (notamment un mélange de conifères et de feuillus) par rapport aux forêts plus homogènes.

D'après l'étude de Wauters et Dhondt (1989a), dans les forêts de conifères, la variation de longueur explique 60 % de la variation de la masse corporelle. Le reste est expliqué par les différences de condition physique entre les individus. A l'inverse, dans les forêts caducifoliées, la longueur n'explique que 25 % de la variation de la masse corporelle. Cette différence est attribuée à une variation de la disponibilité des ressources entre les deux environnements forestiers. En effet, les ressources ne sont généralement disponibles que pendant une période plus courte de l'année dans les forêts de feuillus (Wauters et Dhondt, 1989a). Cela dépend également des essences des arbres présents, mais aucun arbre déciduel ne produit tout au long de l'année, contrairement à certaines essences de conifères (épicéas communs (*Picea abies*) et pins sylvestres (*Pinus sylvestris*)) (Laguet, 2012).

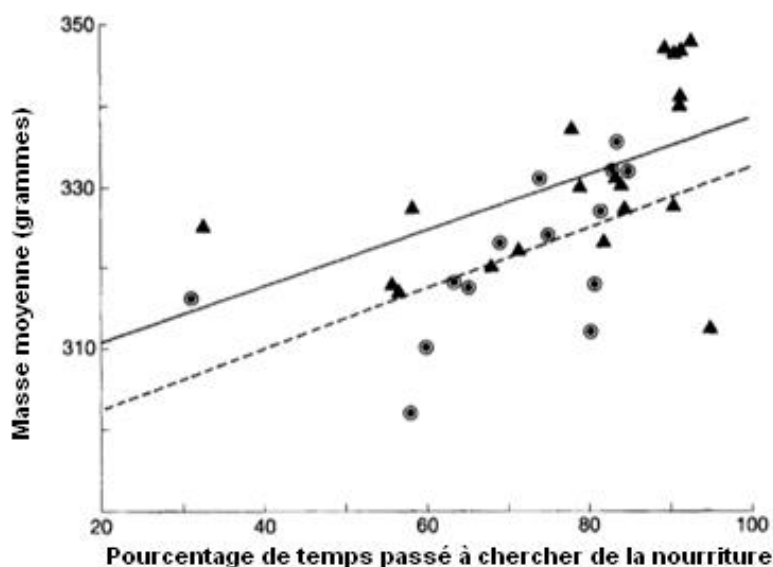
Dans les forêts de conifères de l'étude précédente, les écureuils qui sont sur les lieux de forte abondance de nourriture sont capables d'acquérir une masse corporelle permettant de passer l'hiver alors que cette corrélation est moins claire dans les forêts de feuillus (Figure 4). Il n'est donc pas certain pour un écureuil vivant en forêt de feuillus même sur un site de forte abondance en nourriture qu'il puisse obtenir une masse corporelle suffisante pour passer l'hiver. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'une compétition interspécifique intense existe dans ces forêts du fait que leurs graines tombent au sol. L'hétérogénéité de la répartition des graines, plus importante que dans les forêts de conifères de l'étude, fait augmenter également la compétition intraspécifique. La dépense d'énergie pour se nourrir est donc supérieure au sein des premières (Wauters et Dhondt, 1989a).

Figure 4 : Masse corporelle des écureuils en fonction de l'abondance de nourriture dans la forêt de conifères et de feuillus étudiées (Wauters et Dhondt, 1989a)



On peut également remarquer que le temps passé pour se nourrir doit être globalement supérieur dans les forêts de feuillus pour un même gain pondéral que dans les forêts de conifères (Figure 5) (Wauters et Dhondt, 1989a)

Figure 5 : Masse corporelle des écureuils en fonction du pourcentage de temps passé à chercher de la nourriture, dans la forêt de conifères étudiée (triangles noirs), et dans la forêt de feuillus étudiée (ronds noirs) (Wauters et Dhondt, 1989a)



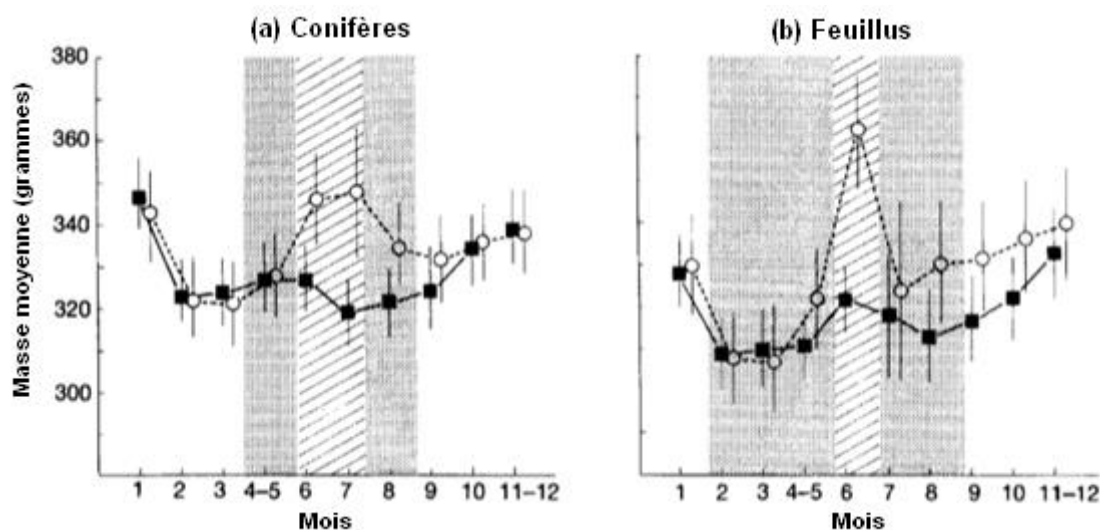
Bien que les essences de feuillus ou de conifères n'aient pas toutes les mêmes caractéristiques, ce qui génère de la diversité au sein de chacune de ces catégories, nous pouvons relever certains aspects propres à chacune, jouant sur la corpulence des écureuils.

- *La saison*

La fluctuation des saisons va de pair avec la variation des ressources. En effet, on observe dans l'étude de Wauters et Dhondt (1989a) que la masse corporelle des écureuils est maximale fin d'automne-début d'hiver, au moment où la nourriture est la plus abondante et la plus riche (Figure 6). Les écureuils ont alors accumulé des réserves stockées sous forme de graisse. Cette couche adipeuse est importante pour traverser les périodes de froid ; l'activité diminue également à cette période, ce qui favorise le maintien du poids des écureuils. Ceux qui ont le meilleur état d'embonpoint à cette période seront ceux qui sortiront de l'hiver avec également la meilleure condition physique. Celle-ci sera très utile pour faire face à la dépense énergétique liée à la reproduction, à la lactation et à la prospection d'aliments moins riches et moins abondants à partir de la fin de l'hiver. Cette masse grasseuse diminue ainsi jusqu'au début de l'été (Wauters et Dhondt, 1989a ; Vaubourdolle, 2002).

Les mâles comme les femelles voient leur masse corporelle fluctuer en fonction des saisons, mais on remarque une augmentation de celle des femelles que ce soit dans les forêts de conifères ou de feuillus, à la fin du printemps et début d'été. Cette augmentation correspond aux gestations (Figure 6) (Wauters et Dhondt, 1989a).

Figure 6 : Masse corporelle des écureuils (carré noir : mâles, ronds blancs : femelles) en fonction des mois (Wauters et Dhondt, 1989a)



La masse corporelle de l'écureuil joue un rôle important tout au long de sa vie notamment pour établir son statut hiérarchique et pour se reproduire. Cependant, une masse corporelle excessive le rendra moins agile (Wauters et Dhondt, 1995)

b. Le pelage

La plupart du temps, le pelage est uniforme sur le dos, les flancs et la tête. Les couleurs peuvent sensiblement varier suivant les régions. On observe des individus roux, gris-brun, brun-roux, brun foncé à noir. En Europe, les individus les plus sombres sont plus présents au nord-est et moins au sud-ouest. Dans les zones montagneuses, ils sont le plus souvent foncés à noirs. Ceci peut s'expliquer par le fait que le pelage foncé comporte un sous-poil plus important, utile pour se protéger du froid (Vaubourdolle, 2002 ; Chapuis et Marmet, 2006).

L'écureuil roux en France est un animal qui arbore des couleurs vives. Ceci est un élément qui le distingue de la plupart des rongeurs aux couleurs souvent plus ternes (Louarn et Quéré, 2011). La fourrure mue deux fois par an : une fois au printemps de l'avant vers l'arrière, et une fois à l'automne de l'arrière vers l'avant. La queue et les oreilles ne muent qu'une seule fois, les poils repoussant entre la fin de l'été et le début de l'automne. La première mue intervient après le sevrage (Lurz *et al.*, 2005).

En hiver, la fourrure est épaisse et tient chaud. La couleur est d'un roux plus prononcé, le ventre reste blanc. La queue est épaisse et les poils qui surplombent les oreilles sont très visibles et nombreux. Au moment de la mue du pelage d'hiver, soit au printemps, on peut observer des périodes de quelques jours où les individus présentent une alopécie généralisée (Vaubourdolle, 2002). Il ne faudra pas la confondre avec des lésions cutanées, dues à des maladies infectieuses abordées dans la partie relative à la pathologie (*cf.* partie Principales affections rencontrées).

L'été, le pelage est plus fin, la queue moins fournie et les poils sur les oreilles ne se voient presque pas. La couleur est plus terne, presque brune (Vaubourdolle, 2002).

c. La queue

Comme vu précédemment, la queue est plus ou moins touffue en fonction de la saison. Elle est parfois préhensible. Elle lui est indispensable dans ses déplacements et sert également de moyen de communication et de thermorégulation (Lurz *et al.*, 2005).

Sa longueur de 140 à 205 mm (Lurz *et al.*, 2005 ; Chapuis et Marmet, 2006) représente environ la moitié de la longueur totale d'un écureuil comprenant corps et queue.

La queue a un rôle dans (Vaubourdolle, 2002) :

- la locomotion : l'écureuil est un animal arboricole et vit dans les arbres. Sa queue lui sert de balancier sur les branches, de parachute et de balancier en l'air et de stabilisateur dans l'eau. Cependant, la queue ne doit jamais être mouillée, au risque que l'animal ne se noie ;

- la communication : la posture du corps et la position de la queue participe au langage corporel de l'écureuil. Il peut ainsi indiquer ses intentions à un individu, écureuil ou pas, face à lui ;

- la thermorégulation : La queue sert à l'écureuil autant l'été pour se protéger du soleil, qu'en hiver ou lorsqu'il dort pour s'enrouler et ainsi être protégé du froid.

d. Les organes des sens

Comme les autres rongeurs, il présente un odorat développé ; ses vibrisses lui permettent aussi de bien se repérer dans l'espace. Les autres sens, ouïe et vue, sont moins performants (Louarn et Quéré, 2011).

- **L'odorat**

L'écureuil utilise l'odorat à la fois pour communiquer, car il utilise beaucoup de signaux olfactifs, et pour rechercher sa nourriture, qu'il peut flairer jusqu'à 30 cm sous la neige (Holm 1989 cité par Vaubourdolle, 2002).

- **La vue**

Les yeux de l'écureuil sont riches en cônes. Il a un angle de vision large, ce qui lui permet de repérer des prédateurs potentiels. Ses yeux sont en effet situés latéralement. Il a vraisemblablement une vision dichromatique, pouvant distinguer le rouge du bleu mais pas le rouge du vert. De plus, il discrimine particulièrement bien les formes verticales, ce qui est un avantage pour cet animal arboricole (Vaubourdolle, 2002 ; Lurz *et al.*, 2005).

- **L'ouïe**

Ce sens est associé à la vue pour lui permettre de fuir à l'approche d'un prédateur potentiel. La tolérance d'un intrus est d'environ 50 mètres minimum (Vaubourdolle, 2002).

- **Le toucher**

L'écureuil possède plusieurs vibrisses sensorielles positionnées sur la face, les carpes et les tarses ainsi que le ventre. Sur la face, celles-ci se répartissent autour des yeux, sur la gorge, sous le menton, au-dessus de la bouche et sur le nez. D'autres se situent sur la partie externe des membres. Les dernières sont localisées sur le ventre à la base de la queue (Lurz *et al.*, 2005).

Ces vibrisses sont des prolongements des poils kératinisés, qui transmettent leurs vibrations à un organe sensoriel situé à leur base. Elles permettent de recueillir des informations sur leur environnement immédiat. Celles-ci jouent un rôle dans l'extéroception, c'est-à-dire une sensibilité nerveuse qui dépend de la stimulation de récepteurs situés dans ou sur la peau par des agents extérieurs. Elles participent au sens de l'équilibre lors des déplacements, notamment au moment des sauts (Vaubourdolle, 2002).

L'écureuil présente également un sens du peser qui lui permet de savoir entre deux noix laquelle est la plus lourde (Holm 1989 cité par VAUBOURDOLLE, 2002).

e. Les glandes

L'écureuil présente des glandes odorantes associées à des glandes muqueuses sur le côté de la bouche et des glandes sébacées autour des lèvres. Une glande apocrine est située de chaque côté de la tête et au niveau du menton. Elles servent à la communication par le marquage (Lurz *et al.*, 2005).

f. Le système digestif

Chez les Sciuridés, les individus ont 22 dents avec la formule dentaire suivante : 1/1, 0/0, 2/1, 3/3. Les quatre incisives ont une croissance continue ; des mouvements de la mandibule d'avant en arrière permettent leur usure permanente. Les incisives rongent tandis que molaires et prémolaires broient (Vaubourdolle, 2002). Chez les écureuils, contrairement au cochon d'Inde (*Cavia porcellus*) et à la souris (*Mus musculus*) ou le rat (*Rattus norvegicus*), le muscle masséter ne passe pas par le canal sous-orbitaire. Le faisceau superficiel de celui-ci va de l'angle de la mandibule à l'angle de l'orbitaire et le faisceau profond du milieu de la mandibule à l'arcade zygomatique (Vaubourdolle, 2002). Cet arrangement musculaire permet à l'écureuil d'être performant pour ronger avec ses incisives (Cox *et al.*, 2012). En effet, une étude basée sur les implications biomécaniques des trois types de disposition de ces muscles chez le rat, le cochon d'Inde et l'écureuil a permis d'identifier le cochon d'Inde comme étant spécialisé dans le broyage au moyen de ses molaires, l'écureuil spécialisé dans le fait de ronger avec ses incisives et le rat intermédiaire, considéré comme généraliste. Ceci est en corrélation avec le régime alimentaire de chacun, majoritairement constitué d'herbe pour le cochon d'Inde, de graines de conifères ou de feuillus, pour l'écureuil et très diversifié pour le rat (Cox *et al.*, 2012).

Du fait de son régime majoritairement végétarien, le tractus digestif de l'écureuil est long (Louarn et Quéré, 2011). Il lui arrive également, bien que ce ne soit pas fréquent, de manger des aliments carnés, ce qui fait d'eux un omnivore opportuniste (*cf.* Partie Alimentation).

g. Le système reproducteur

Comme les autres rongeurs, l'utérus des femelles est bifide ; elles ont huit mamelles. Pendant l'œstrus la vulve est rose et turgescente (Lurz *et al.*, 2005 ; Chapuis et Marmet, 2006 ; Louarn et Quéré, 2011). La placentation discoïde et hémochoriale permet le transfert des immunoglobulines maternelles au fœtus (Le Barzic, 2013).

Les testicules des mâles sont volumineux au moment de la période de reproduction, où ils font saillie en dehors de la cavité abdominale. L'appareil reproducteur régresse en automne. En revanche, chez les Sciuridés, contrairement aux autres rongeurs, il n'y a pas d'os pénien (Lurz *et al.*, 2005 ; Chapuis et Marmet, 2006 ; Louarn et Quéré, 2011).

h. Le squelette et les membres

L'écureuil est un animal de type arboricole ; il présente une anatomie en rapport avec cette fonction avec des membres pelviens puissants. Plantigrade, ses carpes et ses tarses reposent sur le sol. Lorsqu'il s'alimente ou qu'il est en état de veille, l'écureuil adopte une position bipède alors qu'il est quadrupède quand il se déplace (Vaubourdolle, 2002 ; Lurz *et al.*, 2005 ; Louarn et Quéré, 2011). Nous verrons plus en détails les déplacements de l'écureuil dans la partie dédiée (*cf.* partie Activité individuelle et déplacements).

- ***Le squelette***

Le squelette est adapté pour grimper et sauter : les os sont légers. De plus, la colonne vertébrale est très souple et il présente des clavicules développées. Tout ceci participe à l'agilité et à la rapidité de l'écureuil (Vaubourdolle, 2002).

- ***Les membres thoraciques***

Ceux-ci présentent cinq doigts, dont des pouces très courts qui ne se voient presque pas. Les mains servent à la préhension, utile pour attraper la nourriture, pour se déplacer et pour construire des nids. A la face palmaire, on peut observer trois pelotes digitales, et deux pelotes carpiennes. Ces pelotes confèrent une bonne adhérence. Les membres thoraciques servent d'amortisseurs à la réception des sauts (Vaubourdolle, 2002 ; Lurz *et al.*, 2005 ; Louarn et Quéré, 2011).

- ***Les membres pelviens***

Les membres pelviens de l'écureuil sont adaptés à son mode de vie arboricole. En effet, ils sont longs et lourds, et ce de manière disproportionnée. Ceux-ci présentent la musculature la plus développée parmi les autres mammifères du même gabarit. Ainsi, ces membres peuvent jouer un rôle de propulseurs lors des sauts. Par ailleurs, ils sont dotés de cinq orteils et quatre pelotes digitales.

Les pieds de l'écureuil ont la faculté de pouvoir pivoter vers l'arrière, lui permettant de descendre des arbres plus facilement (Vaubourdolle, 2002 ; Lurz *et al.*, 2005).

- ***Les griffes***

Les griffes sont longues et incurvées et sont présentes sur tous les doigts et orteils. Elles ne sont pas rétractiles. Elles jouent un rôle dans la locomotion et l'alimentation (Vaubourdolle, 2002).

C. Répartition de l'écureuil roux

a. L'écureuil roux dans le monde

Comme vu précédemment, l'espèce *Sciurus vulgaris* est largement présente en Europe. Elle s'étend au nord depuis l'Angleterre jusqu'en Sibérie orientale et au sud de l'Espagne jusqu'au nord-est de la Chine. Elle est également présente en partie au Japon (Figure 7).

L'espèce n'est pas présente en Sicile, en Sardaigne, au sud-ouest de l'Espagne, au Portugal, en Islande et en Grèce. Elle est également localement absente d'Angleterre depuis l'invasion pour l'écureuil gris (Chapuis *et al.*, 2012).

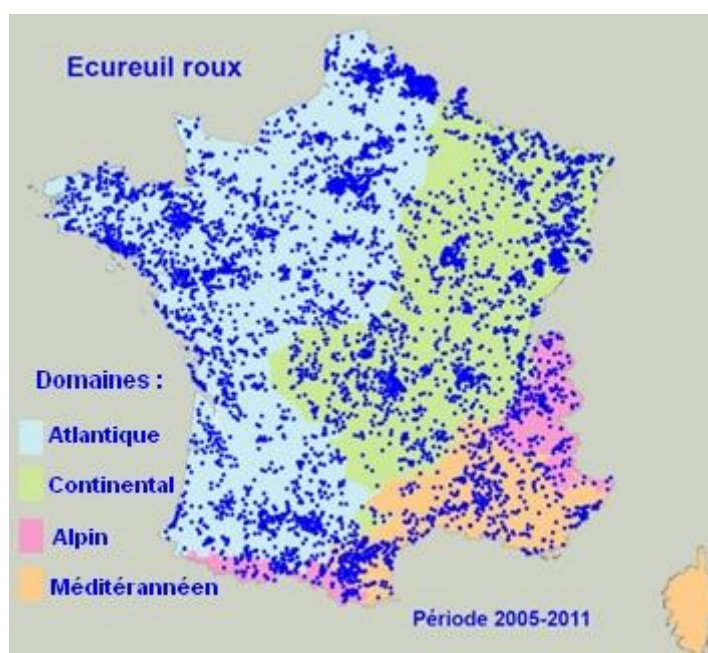
Figure 7 : Répartition de l'écureuil roux dans le monde d'après The IUCN Red List of Threatened Species (La liste rouge UICN (Union internationale pour la conservation de la nature) des espèces menacées) (en jaune : lieu de résidence ; en violet : lieu de résidence après introduction) (Shar *et al.*, 2016)



b. L'écureuil roux en France

En France, l'espèce est également bien présente, jusqu'à 2000 mètres d'altitude dans les Pyrénées et les Alpes. Elle est absente de la Corse et des îles atlantiques, sauf de l'île d'Oléron et de l'île aux Moines (Figure 8) (Chapuis *et al.*, 2012).

Figure 8 : Répartition de l'écureuil roux en France sur la période 2005-2011, en fonction des domaines biogéographiques, d'après INPN (Inventaire national du patrimoine naturel) (MNHN, 2012)



2. Écureuil roux : écologie et éthologie

Nous allons à présent aborder l'étude des milieux où vivent les écureuils roux, ainsi que des rapports qu'ils entretiennent avec leur environnement. Nous allons également nous intéresser au comportement de cette espèce dans son biotope.

A. Activité et habitat

a. Habitat

L'écureuil roux est un animal arboricole qui vit dans les forêts mais également dans les bocages (Louarn et Quéré, 2011). On les voit fréquenter des habitats comme les parcs suburbains et les jardins, ainsi que les petits bois et bosquets (Lurz *et al.*, 2005).

Comme vu précédemment, il peut exploiter les forêts de conifères (mélèzes (*Larix spp.*), pins, épicéas) ou de feuillus. Il privilégie les forêts de conifères ou mixtes (constituées à la fois de conifères et de feuillus), qui présentent l'avantage de garantir un approvisionnement en ressources alimentaires plus régulier sur le long terme grâce à la diversité des graines et la dispersion de celles-ci (Chapuis *et al.*, 2012 ; Laguet, 2012).

Dans l'étude de Wauters et Dhondt (1989a) les forêts de conifères semblent offrir une nourriture plus disponible et plus prédictible que celle des forêts caducifoliées, même si on sait que seules certaines essences de conifères produisent des graines toute l'année, ce qui n'est jamais le cas des essences de feuillus (Laguet, 2012). De plus, ces forêts sont plus homogènes, ce qui permet une meilleure répartition des individus et une compétition intra-spécifique moins importante (Wauters et Dhondt, 1989a) (Tableau 1 et 2).

Wauters et Dhondt (1989a) soulignent également que les graines d'arbres déciduaux tombent directement au sol, contrairement à celles de conifères. Les écureuils sont donc obligés de descendre au sol pour les récupérer, ce qui les expose à une plus grande compétition interspécifique, laquelle dépend de fait de la présence d'autres espèces sur le lieu de vie (Wauters et Dhondt, 1989a) (Tableau 1 et 2). Les écureuils roux assimilant mal les glands, les forêts majoritairement constituées de chênes à glands (*Quercus spp.*) ne sont donc pas les plus adaptées à cette espèce (Kenward et Holm, 1993).

La diversité des essences d'arbres est importante car toutes ne présentent pas les mêmes avantages pour le sciuridé. Les productions des sapins (*Abies spp.*) et pins cembro (*Pinus cembra*) sont des ressources plus énergétiques que celles des épicéas, pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) ou mélèzes d'Europe (*Larix decidua*). En revanche, les épicéas et les pins sont les seuls à fournir des graines toute l'année (Laguet, 2012).

On peut également noter que les écureuils roux préfèrent les forêts matures, qui leur offrent une meilleure disponibilité et prédictibilité en termes de nourriture. En effet, tous les arbres mettent un certain temps avant d'atteindre la maturité et de produire des graines. On peut par exemple citer le pin sylvestre qui commence à produire des graines à partir de 15 ans, et le pin corse (*Pinus nigra*), dont la production ne débute pas avant 25 ou 30 ans (Gurnell *et al.*, 2002).

La qualité de l'habitat, qui se mesure en termes de disponibilité et en qualité des ressources, aura donc un effet certain sur la masse corporelle, constitue un paramètre déterminant dans la vie de l'écureuil, comme nous le verrons par la suite (Wauters et Dhondt, 1989b).

Pour résumer les différentes activités de l'écureuil roux sur une année, on peut s'appuyer sur les deux tableaux suivants, complétés à partir des données de Wauters et Dhondt (1989a) collectées en Belgique et celle de Laguet (2012) provenant de Savoie. Comme nous l'avons noté, des différences apparaissent en fonction des essences d'arbres présentes, il n'est donc pas possible de présenter un modèle général.

Tableau 1 : Evolution de l'activité, de la disponibilité des ressources et intégration des périodes de reproduction dans l'année des écureuils roux (case rouge : demande forte en énergie, case orange : demande intermédiaire en énergie, case verte : faible demande en énergie) dans une forêt de conifères d'après plusieurs études de Wauters et Dhondt de 1989 et 1985 en Belgique et l'étude de Laguet de 2012 en Savoie (Wauters et Dhondt, 1985 ; Wauters et Dhondt, 1989a ; Laguet, 2012)

Conifères	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept
Alimentation	Epicéas et Pins : graines disponibles toute l’année sur les arbres											
	Autres essences : graines qui tombent progressivement à terre				Autres essences : pas de graine disponible			Autres essences : pas de graine disponible Fleurs, feuilles, fruits...			Autres essences : maturation des graines	
	Mise en cache		Utilisation des cachettes Mise en cache qui diminue puis s’arrête							Ressources des cachettes épuisées puis mise en cache de nouveau progressivement		
Activité	Activité de mise en cache		Activité restreinte, énergie économisée pour l’hiver				Activité plus intense pour la recherche de nourriture			Retour à une activité moins intense		
Reproduction					1 ^{ère} période reproduction			2 ^e période de reproduction				

En automne, jusqu'en octobre-novembre, la nourriture est abondante et prédictible, les graines restent sur les arbres plus longtemps que les graines de feuillus. L'écureuil mange directement dans les arbres et constitue des réserves pour l'hiver et le printemps qui arrivent. L'activité est soutenue pour cacher les graines ; les écureuils passent donc du temps au sol.

En hiver, les écureuils s'alimentent à partir des ressources retrouvées dans les cachettes et dans les arbres, mais aussi grâce aux graines d'épicéas et de pins toujours présentes. Leur activité est restreinte, pour économiser l'énergie emmagasinée en été et en automne. Ils passent beaucoup de temps dans leur nid, enroulés sur leur queue qui leur tient chaud. La mortalité peut être importante pour les individus en mauvais état du fait des conditions climatiques.

En fin d'hiver et début de printemps, survient la première période de reproduction de l'année, l'activité reprend. Seules les femelles de plus de 300 g pourront entrer en œstrus. L'approvisionnement en nourriture dépend toujours des cachettes.

Au printemps, la nourriture provient à la fois des réserves constituées préalablement et d'autres sources de nourriture comme des champignons (grand nombre d'espèces), des bourgeons de conifères, des fruits à pulpe comme les cerises... Si la forêt abrite des épicéas et des pins, leurs graines sont disponibles toute l'année. L'activité est plus intense pour cette recherche de nourriture. Elle est également intense car c'est la période de sevrage des petits issus de la première période de reproduction et également le début de la deuxième période de reproduction qui se déroule sur la fin du printemps ou le début d'été. C'est également une période de dispersion des jeunes nés à l'été dernier et de naissances.

En été, on peut encore observer des naissances. Puis progressivement l'activité se restreint, la nourriture est de nouveau accessible facilement dans les arbres.

Tableau 2 : Evolution de l'activité, de la disponibilité des ressources et intégration des périodes de reproduction dans l'année des écureuils roux (case rouge : demande forte en énergie, case orange : demande intermédiaire en énergie, case verte : faible demande en énergie) dans une forêt de feuillus d'après plusieurs études de Wauters et Dhondt de 1989 et 1985 en Belgique et l'étude de Laguet de 2012 en Savoie (Wauters et Dhondt, 1985 ; Wauters et Dhondt, 1989a ; Laguet, 2012)

<i>Feuillus</i>	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	
Nourriture	Graines qui tombent au sol				Aucune graine disponible		Aucune graine disponible Fleurs, feuilles, fruits...				Maturation des graines		
	Mise en cache		Utilisation des cachettes Mise en cache qui continue puis s'arrête				Les ressources cachées épuisées puis mise en cache de nouveau progressivement à partir de la fin de l'été						
Activité	Domaine vital plus grand car les déplacements sont indispensables pour se nourrir						Activité encore plus intense pour la recherche de nourriture				Retour à une activité moins intense		
	Activité de mise en cache			Activité restreinte pour l'hiver									
Reproduction									Période de reproduction				

En automne, les graines de feuillus tombent au sol directement, les écureuils y passent donc plus de temps à la fois pour manger et cacher les graines.

En hiver, comme en forêt de conifères, les écureuils restent beaucoup de temps au nid et sortent se nourrir grâce aux cachettes, unique source de nourriture disponible à cette période.

Au printemps, il se peut qu'il n'y ait pas de première période annuelle de reproduction, comme dans notre exemple, car les écureuils femelles n'ont pas atteint la masse corporelle nécessaire pour entrer en œstrus. Comme en forêt de conifères, l'activité s'intensifie pour la recherche de nourriture, mais uniquement grâce à d'autres sources de nourriture que les graines qui ne sont pas encore disponibles.

S'il n'y a pas eu de période de reproduction fin d'hiver-début de printemps, l'unique période de reproduction de l'année se fait fin de printemps-début d'été. Si les femelles peuvent entrer en œstrus en fin d'hiver, les deux périodes de reproduction ont lieu comme dans les forêts de conifères.

En été, on peut observer les naissances. La nourriture est plus abondante, les graines sont de nouveau disponibles dans les arbres.

Les milieux dans lesquels évolue l'écureuil peuvent être très variés. Les différentes caractéristiques de chaque type de forêt influent donc sur la vie des Sciuridés. Ce sont les forêts mixtes (mélange de feuillus et de conifères) et les forêts de conifères, abritant des essences productives toute l'année, qui semblent les plus adaptées pour cette espèce, les ressources y étant prédictibles, abondantes, et diversifiées.

Le taux de glucocorticoïdes est intéressant à mesurer pour apprécier le niveau de stress chez les animaux. En effet, un stress va induire une plus forte production de ces hormones. Il est intéressant de constater que, quel que soit le milieu, leur concentration dosée dans les fèces des écureuils fluctue en cours d'année et en fonction du développement de l'animal. Elle est plus élevée l'hiver, au moment de la première période de reproduction, lorsque les écureuils vont au sol pour rechercher ou dissimuler des graines. L'automne représente une période intermédiaire en terme de taux de glucocorticoïdes concomitante avec la dissimulation des graines, et l'été la concentration est minimale, au moment où la saison de reproduction est terminée et les ressources de nouveau disponibles (Dantzer *et al.*, 2016) (Tableau 1 et 2).

Nous avons déjà abordé des éléments relatifs aux facteurs qui ont un rôle sur la dynamique des populations d'écureuils, que nous allons détailler à présent.

b. Dynamique de population

Toute population subit « des changements incessants liés à la disparition (décès, émigration) et à l'apparition de nouveaux sujets (naissances, immigration) » (Barbault et Lebreton, 2020). Ces caractéristiques dépendent de différents paramètres que nous allons détailler.

- ***La natalité***

Habituellement, les naissances se font sur deux périodes, une survenant au printemps et l'autre en été. Cependant, le succès reproducteur diminue avec la densité ou dans des milieux défavorables. (Lurz *et al.*, 2005)

D'après l'étude de Wauters et Dhondt (1985), le nombre de naissances était plus important dans la forêt de conifères que dans celle de feuillus où les écureuils n'ont connu qu'une période de reproduction au lieu de deux. Ceci peut s'expliquer par le fait que la forêt de feuillus s'avérant un milieu moins favorable, le succès reproducteur y est donc moins élevé (Lurz *et al.*, 2005).

Nous aborderons plus en détails les naissances dans la partie sur la reproduction (*cf.* partie Reproduction)

- ***La mortalité***

Passés six mois, un individu a une longévité moyenne de trois à cinq ans, certains pouvant atteindre jusqu'à sept ans en milieu naturel, dix ans en captivité (Lurz *et al.*, 2005 ; Chapuis *et al.*, 2012). Nous allons étudier quels sont les paramètres dépendant du milieu qui ont une influence sur le taux de mortalité.

□ Les conditions climatiques défavorables

Les écureuils doivent se constituer une couche de graisse capable de leur permettre de passer l'hiver. Les individus en moins bonne condition physique auront moins de chance de survivre (Wauters et Dhondt, 1989b). Durant cette période, les écureuils sont moins actifs, ce qui permet d'économiser leur réserve adipeuse pour la régulation de leur température corporelle. Ils doivent non seulement passer la période de froid mais enchaîner ensuite sur une période de reproduction qui sera elle aussi énergivore (Tableaux 1 et 2) (Wauters et Dhondt, 1985).

Une étude menée sur une population d'écureuils roux dans un environnement semi-naturel avec une supplémentation de leur alimentation a montré que l'adaptation physiologique aux variations climatiques était minimale lorsque la nourriture était abondante. Leur masse corporelle ne varie pas durant l'année quand l'alimentation est rendue disponible en continu et en raison de leur adaptabilité à ce milieu. Pour faire face aux changements de températures, leur fourrure est un atout pour garder la chaleur l'hiver ; moins dense en été, l'évacuation de celle-ci s'en trouve facilitée. Les écureuils peuvent également ajuster leur activité afin de s'adapter aux températures ambiantes. Ils adoptent des postures différentes pour diminuer la surface d'échange thermique s'il fait froid et l'augmenter dans le cas contraire. La modification de l'activité et les changements posturaux sont des réactions rapides d'adaptation aux variations de températures, ce qui permet aux écureuils de survivre correctement dans des environnements urbains comme celui étudié, qui connaissent des variations rapides (Turner *et al.*, 2017).

□ Le déficit en ressources

La survie des individus d'une année à l'autre dépend entre autres de la disponibilité des graines sur la période automne-hiver (Lurz *et al.*, 2005). Ces périodes de famine semblent plus affecter les subadultes (juvéniles sevrés) et les juvéniles non sevrés que les adultes (Selonen *et al.*, 2015).

Lors d'une année d'abondance, le taux de mortalité sera plus faible donc la taille de la population aura tendance à croître. Cependant, d'après une étude ayant étudié ces fluctuations sur plusieurs années et au sein de différents habitats, on peut souvent observer une période de famine à la suite d'une année favorable. La mortalité augmente donc fortement l'année suivante (Selonen *et al.*, 2015).

□ L'effet de la reproduction

Il semblerait que les femelles se dispersent davantage pendant l'automne, en fonction des disponibilités en nourriture, alors que les mâles se dispersent plus au printemps, en fonction de la dispersion des femelles pour la reproduction (Lurz *et al.*, 2005 ; Chapuis et Marmet, 2006).

□ La prédation

Ce point sera développé plus tard. Les écureuils sont soumis à une prédation qui régule leurs populations. Les prédateurs sauvages principaux sont la martre (*Martes martes*), l'autour des palombes (*Accipiter gentilis*), la buse variable (*Buteo buteo*), certains rapaces nocturnes, l'hermine (*Mustela erminea*) et le renard roux (*Vulpes vulpes*) (cf. partie Prédateurs).

□ Transmission des maladies

Au sein d'une population donnée, la transmission d'agents infectieux et de parasites sera facilitée par la proximité des individus. Ceci intervient dans la régulation de ces populations. Nous en détaillerons dans la partie dédiée à la pathologie (cf. partie Principales affections rencontrées).

A ces facteurs naturels, on peut également ajouter ceux liés à la présence de l'homme, comme les accidents de voiture, les prédateurs domestiques qui causent également la mort de nombreux individus.

- *Les départs et les arrivées*

Habituellement, certains subadultes nés dans l'année sont recrutés dans la population et d'autres la quittent. Cela permet de conserver une certaine diversité génétique et de réguler les effectifs. Ce sont principalement les subadultes qui émigrent mais cela peut également concerner les adultes. Dans l'étude de Wauters et Dhondt (1985), le taux d'immigration était plus important dans la forêt de conifères, dépassant le taux d'émigration dû aux jeunes quittant la population. La population de la forêt de conifères avait tendance à croître alors que celle de la forêt de feuillus restait stable dans cette étude (Wauters et Dhondt, 1985). La dispersion sera abordée plus en détails dans le chapitre sur la reproduction (*cf.* partie Reproduction).

Avec l'urbanisation, on voit apparaître une fragmentation des habitats des écureuils. On peut citer les routes qui traversent les forêts, ou les parcelles d'arbres coupés. Puisque les petites populations et les populations isolées ont une probabilité plus élevée de s'éteindre, il est intéressant de se demander quelle est l'influence de cette fragmentation sur les populations d'écureuils (Lurz *et al.*, 2005). Ceci sera détaillé dans le chapitre consacré à l'influence de l'homme sur le milieu de l'écureuil roux (*cf.* partie Menaces d'origine anthropique).

- La compétition inter et intra-spécifique

Comme évoqué précédemment, il existe une compétition inter et intra-spécifique surtout en forêt de caducifoliés. Cela a alors une influence sur le domaine vital des écureuils, et régule également la population. On développera une partie consacrée au domaine vital par la suite (*cf.* partie Domaine vital et hiérarchie).

La compétition intra-spécifique au sein d'un même sexe est encore plus intense. L'immigration des femelles dépend beaucoup de la densité des individus du même sexe et l'immigration des mâles est fonction de la densité des mâles (Wauters *et al.*, 2004).

- Les ressources du milieu

En ce qui concerne les milieux naturels, sans considérer l'influence de l'homme sur le milieu, comment se répartissent les populations d'écureuils ?

La densité moyenne des populations est entre 0,5 et 1,5 individu/ha dans les forêts de feuillus et de conifères. Cependant, cette donnée change énormément d'année en année en fonction du temps et de la disponibilité des graines, surtout dans les monocultures (Lurz *et al.*, 2005).

Plus la nourriture est disponible et plus la densité d'écureuils augmente (Wauters et Dhondt, 1985 ; Wauters et Dhondt, 1989a). Wauters et Dhondt (1989a) trouvent une corrélation positive significative entre la densité et l'abondance de nourriture dans les forêts de conifères. Cette corrélation est beaucoup moins claire pour les forêts de feuillus, où la nourriture n'est jamais disponible sur l'année entière. La densité est reliée à la disponibilité permanente de ressources alimentaire de haute énergie. Elle est donc globalement plus élevée dans les forêts de conifères.

Les ressources ont également une certaine influence sur la dispersion des jeunes écureuils par la compétition intra-spécifique que cela engendre. Ceux-ci quittent le milieu si la densité est trop importante ou si la nourriture n'est pas suffisante, permettant ainsi d'éviter les surpopulations.

□ La taille du milieu

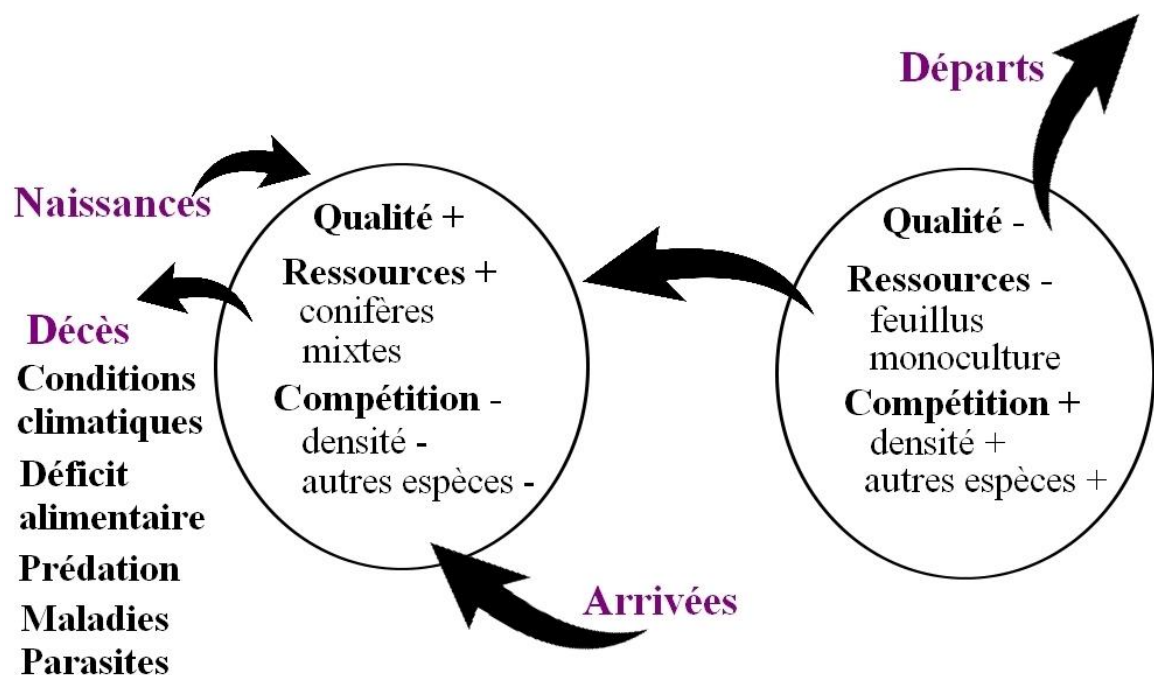
Qu'en est-il de la taille de l'habitat, pouvant être réduite par une fragmentation du milieu et l'augmentation de coupes de zones boisées ?

La dimension du milieu a une influence sur les départs et les arrivées car un biotope limité offrira moins de place pour les individus, donc on aura un effet de la densité par la compétition qu'elle engendre. De plus, les écosystèmes en place auront moins de chance d'être conservés en l'état dans un habitat exploité et réduit. Une étude effectuée dans le nord-est de la Chine montre que les habitats les plus modifiés par l'homme sont les moins adaptés aux écureuils roux du fait de la destruction des écosystèmes (Longru *et al.*, 2010).

Cependant, comme nous l'expliquerons plus tard, si les habitats fragmentés restent de qualité suffisante, les écureuils sont capables de s'adapter à un environnement urbanisé (Turner *et al.*, 2017). Plus que la taille, c'est donc la préservation des écosystèmes *a minima* en tant que pourvoyeur de ressources qui compte avant tout pour l'écureuil.

La densité, les ressources et donc la qualité de l'habitat ont une influence sur le départ des écureuils d'un lieu et le choix d'un autre. Mais c'est d'abord l'urbanisation et la destruction des habitats qui fait baisser considérablement la qualité de celui-ci en détruisant les écosystèmes. Ceci est un paramètre important qui peut avoir de lourdes conséquences pour les populations d'écureuils (Figure 9) (Chapuis *et al.*, 2012).

Figure 9 : Schéma résumant les différents facteurs de la dynamique des populations d'écureuils roux (figure personnelle).



c. Domaine vital et hiérarchie

L'écureuil roux est un animal solitaire sauf en période de reproduction. Il ne défend pas de territoire, les écureuils partageant leur espace en exploitant des domaines vitaux. Chaque individu a un domaine vital qui varie plus ou moins en fonction des années et de la saison. Les écureuils exploitent davantage une partie de leur domaine, le reste n'étant utilisé qu'occasionnellement. Il existe un chevauchement entre ces domaines que nous allons détailler. (Wauters et Dhondt, 1992 ; Chapuis *et al.*, 2012).

Il existe une hiérarchie commune à tous les individus, mais également une hiérarchie distincte au sein des mâles et une autre parmi les femelles (Lurz *et al.*, 2005). Globalement dans les deux sexes, c'est la taille et l'âge qui déterminent qui est dominant. Celui-ci dispose d'un plus grand domaine vital que les subordonnés du même sexe (Wauters et Dhondt, 1992).

La superficie des domaines vitaux varie donc en fonction de la saison, du sexe et de l'habitat.

- *Variation en fonction de la saison*

Que ce soit pour les mâles ou les femelles, les domaines vitaux sont globalement plus petits en automne-hiver, au moment où la nourriture est plus simple à trouver et en plus grande abondance. C'est donc une période où l'activité est moins intense également en corrélation avec l'économie d'énergie nécessaire pour traverser l'hiver (Tableaux 1 et 2) (Wauters et Dhondt, 1992). A partir d'avril la nourriture est plus éparpillée, les écureuils doivent chercher d'autres sources d'alimentation, leur activité est plus intense. Leur domaine vital est donc plus vaste à cette période de l'année.

Lors de la période de reproduction, les mâles ont un domaine plus étendu qui recouvre le domaine vital de plusieurs femelles. Ils ne sortent pas de leur domaine durant la période de reproduction (Wauters et Dhondt, 1992 ; Chapuis *et al.*, 2012).

Les écureuils utilisent des marquages olfactifs, permettant notamment de communiquer sur le stade de reproduction des femelles. Ces marquages se font grâce à l'urine, les sécrétions glandulaires, les sécrétions vaginales des femelles (Chapuis *et al.*, 2012).

Lors de la lactation, les femelles réduisent leur domaine au maximum pour rester au plus près du nid et ainsi mieux le défendre (Wauters et Dhondt, 1992).

Les domaines vitaux varient donc en fonction des ressources et de la période de reproduction.

- *Variation en fonction du sexe*

En ce qui concerne les mâles, leur domaine est deux à trois fois plus grand que celui des femelles. On a généralement des domaines allant de 2 à 20 ha pour les femelles et entre 5 et 30 ha pour les mâles (Chapuis et Marmet, 2006).

Dans une étude effectuée en Belgique, les auteurs ont trouvé que le pourcentage de recouvrement du domaine des mâles, que ce soit avec d'autres mâles ou des femelles était plus important que pour les femelles. Ce recouvrement permettrait un meilleur succès reproducteur. On pourrait penser que cette situation aurait également tendance à augmenter la compétitivité entre les mâles mais la hiérarchie établie était assez forte pour que le chevauchement de leurs domaines soit possible. Globalement le pourcentage de recouvrement était plus important là où la nourriture était la plus abondante, c'est-à-dire dans la forêt de conifères, car la densité y était plus importante

(Wauters et Dhondt, 1992). Les ressources, la densité et la reproduction sont des paramètres importants dans l'établissement des domaines vitaux des mâles.

En ce qui concernait les femelles, leurs domaines s'avéraient plus petits que ceux des mâles permettant à celles-ci de mieux les défendre. Le pourcentage de recouvrement entre femelles était très faible ; elles défendaient leur domaine principalement contre les individus du même sexe. Globalement, les femelles dominantes étaient réparties au centre de l'espace et les subordonnées autour. On ne trouve généralement pas deux femelles dominantes dont les domaines vitaux se chevauchent. Les domaines des femelles sont principalement influencés par la qualité de l'habitat en termes de nourriture, les meilleurs endroits revenant aux dominantes. Un plus petit domaine vital plus facile à défendre et riche en nourriture permettra à la femelle de protéger et nourrir correctement sa progéniture (Wauters et Dhondt, 1992).

- *Variation en fonction de l'habitat*

Les domaines vitaux sont plus grands dans les forêts de feuillus en raison de la nécessité de se déplacer davantage pour accéder à la nourriture. Au moment du printemps, les domaines s'étendent également davantage.

Dans une étude, les individus ont été plus facilement vus en train de manger ensemble dans la forêt de feuillus, que dans la forêt de conifères. On a pu également voir des partages de nids. Les individus semblaient donc plus tolérants entre eux dans la forêt à feuillage caduque (Wauters et Dhondt, 1992). On peut relier cela au fait qu'un domaine plus grand demande plus d'énergie à défendre dans un contexte où la nourriture est déjà difficile à trouver. L'énergie est donc dépensée en premier lieu pour la recherche de nourriture et non pas pour défendre le domaine vital.

d. Activité individuelle et déplacements

Après avoir vu comment évoluent ces animaux à l'échelle de la population nous allons étudier d'un peu plus près l'activité individuelle d'un écureuil.

- *La journée d'un écureuil*

L'écureuil roux est diurne ; il commence son activité avec le lever du soleil. Actif toute l'année, il n'hiberne pas, mais peut rester dans un nid plusieurs jours pendant l'hiver (Lurz *et al.*, 2005). C'est un homéotherme strict : il ne peut pas abaisser sa température corporelle en cas de conditions défavorables comme le font les animaux qui hibernent (Dausmann *et al.*, 2013). L'été, on remarque deux pics d'activité, le premier survient deux à quatre heures après le lever du soleil et le second deux à quatre heures avant le coucher du soleil. En hiver, il n'y a qu'un seul pic d'activité en fin de matinée. Au printemps et en automne, le profil d'activité est intermédiaire (Lurz *et al.*, 2005).

L'activité est dépendante de la météorologie : elle diminue en cas de vent fort, de fortes pluies, de fortes chaleurs, ou de temps très froid. Lorsqu'il fait chaud, il peut s'allonger sur une branche pour chercher la fraîcheur ou partir en quête d'un point d'eau stagnante (Lurz *et al.*, 2005).

L'activité est également dépendante de la disponibilité en nourriture. En effet, nous avons vu que les écureuils avaient une activité variable en fonction de l'année. Les déplacements augmentent significativement à partir d'avril et surtout en mai-juin. A cette période la nourriture est moins disponible, il faut donc aller la chercher plus loin (Wauters et Dhondt, 1985).

- *Les déplacements d'un écureuil*

L'animal au sol se déplace par bonds avec la queue relevée. Il s'assoie souvent sur les postérieurs, en alerte, avec la tête relevée, les oreilles dressées et le nez qui renifle les odeurs périphériques. Il est capable de nager (Lurz *et al.*, 2005).

Dans les arbres il est agile et se déplace rapidement. Il saute de branche en branche entre les arbres de quatre mètres de hauteur. On peut le voir descendre le long des troncs, la tête en bas, en faisant des pauses fréquentes. Lorsqu'il se sent dérangé ou en danger, il va se figer sur une branche ou sur le côté du tronc opposé au prédateur ou à l'observateur (Lurz *et al.*, 2005).

On s'est intéressé aux déplacements des écureuils sur plusieurs substrats. Différentes études ont cherché à mettre en évidence les différences de déplacement au sol, sur une branche horizontale (Schmidt, 2011), ou des branches inclinées (Schmidt et Fischer, 2011). Au sol, l'écureuil préfère se déplacer par des bonds ; il présente beaucoup d'oscillations verticales et membres antérieurs comme postérieurs absorbent les chocs de la même façon (Schmidt, 2011).

Sur une branche horizontale, on a montré que la protraction des membres, c'est-à-dire le fait d'avancer le membre vers l'avant, prédomine sur la rétraction soit le fait de faire passer le membre vers l'arrière. C'est l'inverse qui s'observe lors d'un déplacement au sol. De plus, ce qui prime semble être le fait d'économiser son énergie ; le substrat est testé par un temps de contact plus long que sur le sol. Il y a moins de flexions des membres et moins de mouvements de freinage, bien que la vitesse soit globalement moins élevée. Le déplacement se fait plutôt par le galop que par des bonds ; les oscillations verticales sont limitées pour une meilleure stabilité (Schmidt, 2011). C'est le support qu'il utilise le plus en milieu naturel, pour aller chercher sa nourriture qui se trouve principalement sur les branches terminales. On le voit donc le plus souvent à quatre pattes, ou en position assise pour manipuler la nourriture (Youlatos et Samaras, 2011).

Sur des branches inclinées, de 30° et 60°, il apparaît que plus l'inclinaison augmente, plus la rétraction des membres devient plus importante. Les membres sont davantage fléchis cette fois-ci, pour que le centre de gravité soit le plus proche possible du support. Le temps de contact des membres est moins long, la vitesse est augmentée, l'écureuil utilise ici sa stabilité dynamique. Puisqu'il n'a pas de pouce préhensile, l'écureuil ne peut pas s'accrocher aux branches. Il semble que les fonctions de protraction et de rétraction soient utilisées de manière équilibrée entre membres antérieurs et postérieurs afin de garder sa stabilité. A partir d'un angle d'inclinaison situé entre 30° et 60°, la fonction des membres évolue. Les écureuils positionnent alors leurs membres antérieurs plus latéralement. Ils ne le font qu'en cas de forte inclinaison car c'est un comportement qui peut déstabiliser l'animal, la chute latérale étant plus facile. On peut grâce à cette observation qualifier l'escalade comme étant la phase au cours de laquelle le fonctionnement des membres antérieurs et postérieurs se distingue par rapport à l'utilisation des fonctions de protraction et de rétraction (Schmidt et Fischer, 2011). On les verra utiliser leurs griffes sur ces branches, leur faible poids leur permettant de tels déplacements (Youlatos et Samaras, 2011).

C'est sa morphologie qui lui permet d'être à l'aise aussi bien au sol que dans les arbres, aussi bien sur les branches horizontales qu'inclinées, avec des adaptations propres à chaque terrain de ses modalités de déplacements et d'emploi de ses membres. Dans les arbres, leur morphologie leur permet d'effectuer des sauts pour passer d'arbres en arbres sans descendre au sol et ainsi éviter les prédateurs tout en économisant de l'énergie au cours des déplacements (Youlatos et Samaras, 2011).

e. Communication

L'écureuil roux communique avec ses congénères par plusieurs moyens (Lurz *et al.*, 2005) :

- marquages par l'urine ou les sécrétions des glandes mentonnières : les marquages se retrouvent à des endroits spécifiques du domaine vital sur des branches et des troncs d'arbre. Cela indique aux autres l'occupation de l'endroit, le statut social et reproducteur ;
- sécrétions vaginales des femelles en œstrus : elles peuvent attirer un mâle à plus d'un kilomètre de distance ;
- vocalises et postures : le répertoire des comportements émis par l'écureuil pour communiquer est large. Il existe des appels doux ou forts, des gémissements, des claquements de dents. Un jeune mâle aura un appel strident. Les interactions agonistiques utilisent des cris bruyants, des frappes de pieds, des battements de queue, des poursuites à grande vitesse et des morsures sur la queue. Elles sont fréquentes notamment lorsqu'un groupe de mâles suit une femelle en chaleur. C'est le mâle dominant qui a le plus de chance de conquérir celle-ci.

f. Les traces de son passage

L'écureuil est un animal diurne mais il n'est cependant pas aisé à voir. On peut néanmoins observer des traces de sa présence ou de son passage.

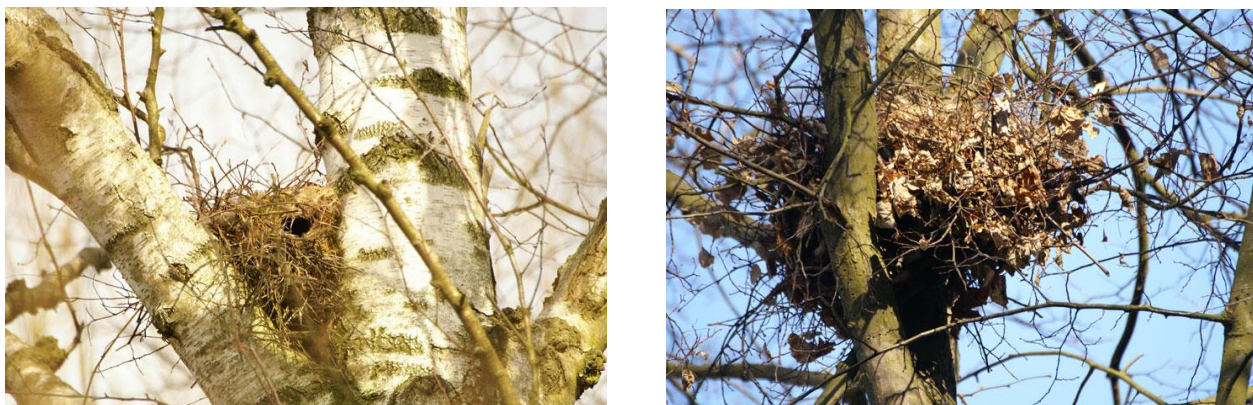
• Les nids

On peut observer des nids, ronds et de gros diamètre (environ 20 à 50 centimètres). Ils sont en général construits à la cime des arbres, près du tronc ou à l'enfourchure des branches. Les nids sont généralement à une hauteur de six mètres, mais peuvent être construits entre 5 et 15 mètres de hauteur, assez haut pour échapper aux prédateurs terrestres tout en évitant l'exposition au vent (Chapuis *et al.*, 2012). S'il a le choix, l'écureuil préfère construire son nid dans les conifères, surtout dans les épicéas (*Picea spp.*), plus denses que les pins (*Pinus spp.*) (Vaubourdolle, 2002 ; Lurz *et al.*, 2005) Mais certains nids peuvent aussi se trouver dans les structures des habitations, sur les volets par exemple. Il peut aussi s'installer dans le creux d'un arbre (Chapuis *et al.*, 2012).

Pour l'élaborer, l'écureuil rassemble des petites branches, des herbes, de la mousse, puis le recouvre de feuilles. La cavité interne mesure 12-16 cm et est recouverte de mousse, de feuilles, d'écorces, d'aiguilles et d'herbe fraîchement coupée. Leur structure s'apparente aux nids de corvidés, mais en différent par des ouvertures placées sur le côté (Figure 10) (Vaubourdolle, 2002 ; Lurz *et al.*, 2005 ; Louarn et Quéré, 2011). L'entrée de 5-8 cm de diamètre s'ouvre latéralement et vers le bas. Un autre signe distinctif est la persistance des feuilles sur les branches coupées utilisées pour confectionner le nid, si celui-ci a été bâti en été, qu'on n'observe pas sur ceux des corvidés (Figure 10) (Chapuis *et al.*, 2012).

Un seul écureuil possède plusieurs nids, deux, trois ou plus. Il existe des « nids de nuit », pour dormir et des « nids de jour » pour le repos. Les premiers peuvent aussi servir pour le repos. Ils changent souvent d'abris d'une nuit à l'autre allant jusqu'à utiliser jusqu'à huit nids en l'espace de deux semaines (Vaubourdolle, 2002 ; Louarn et Quéré, 2011). Mis à part en période de mise bas où la femelle est avec sa progéniture, un seul écureuil occupe le nid à la fois (Chapuis *et al.*, 2012).

Figure 10 : Nids d'écureuil reconnaissable par l'ouverture de côté (à gauche) et les feuilles restées sur les branches utilisées (à droite) © D. Baillie (Chapuis et al., 2012)

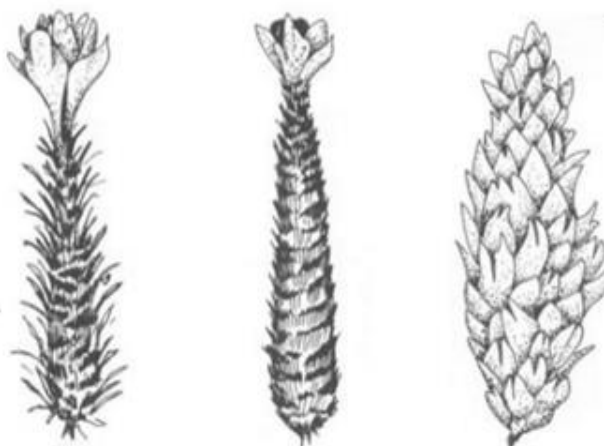


- *Les restes de repas*

On peut être amené à observer plusieurs restes des repas de l'écureuil, variant avec le biotope en question :

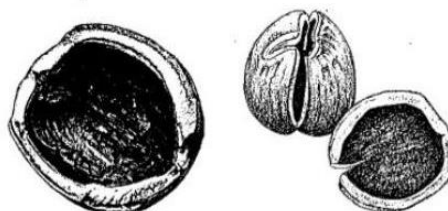
- écorçage des troncs : des bandes plus ou moins longues d'écorce peuvent être observées au pied des arbres. Des traces de dents sont également visibles sur le tronc (Vaubourdolle, 2002) ;
- ébourgeonnage : on peut observer des rameaux de conifères sectionnés au pied des arbres. En effet l'écureuil ouvre les bourgeons floraux et les vide de leur contenu. Il attaque rarement les bourgeons terminaux, mais il peut être amené à le faire dans un habitat où les ressources manquent (Vaubourdolle, 2002 ; Laguet, 2012) ;
- cône de résineux : si on trouve des cônes accumulés au pied d'un arbre, desquels il ne subsiste que les axes et quelques écailles au sommet, il s'agit sans doute des reliquats d'un repas d'écureuil. L'écureuil sectionne les écailles pour permettre d'en extraire la graine (Vaubourdolle, 2002). Pour différencier un cône attaqué par un écureuil ou par un mulot (*Apodemus spp.*), il faut regarder l'aspect de celui-ci. Dans les deux cas, des écailles sont encore présentes au-dessus du cône car elles ne contiennent que très peu de graines. Un cône d'épicéa consommé par un écureuil présentera un aspect effiloché, le travail d'attaque paraissant plus grossier que dans le cas du mulot, qui laissera un cône d'aspect lisse. Si c'est un pic épeiche (*Dendrocopos major*) qui est en cause, le cône abandonné aura un aspect ébouriffé conservant des écailles sur toute la longueur du cône (Figure 11) (Parc des Ecrins, 2016) ;

Figure 11 : Différences entre des cônes d'épicéas mangés par différents animaux (écureuil roux à gauche, mulot au centre, pic épeiche à droite) (Parc des Ecrins, 2016)



- graines : Lorsqu'on trouve une graine ouverte, la technique utilisée pour l'ouverture peut nous indiquer quel animal l'a mangée. Dans le cas de l'écureuil, les coques des noisettes sont ouvertes en deux, sur lesquelles on peut voir des traces d'incisives (Figure 12) (Louarn et Quéré, 2011) ;

Figure 12 : Noisettes mangées par un écureuil roux (Parc des Ecrins, 2016)



- excréments : les crottes sont ramassées, presque globuleuses, souvent légèrement aplaties à une extrémité et pointues à l'autre. En été, on peut reconnaître des petits débris et des fragments d'insectes à l'intérieur (Vaubourdolle, 2002).

- *Les empreintes*

Lorsqu'il se déplace par bonds, les traces laissées sur le sol se reconnaissent car les quatre empreintes des extrémités des pattes sont groupées, les postérieures précédant les antérieures. Il a des ongles longs qui s'écartent en étoile dès le talon. On constate quatre doigts à l'avant et cinq à l'arrière, car les pouces des membres thoraciques ne marquent pas.

On peut également observer des traces de griffure sur les arbres à partir de 60 cm de hauteur. (Louarn et Quéré, 2011)

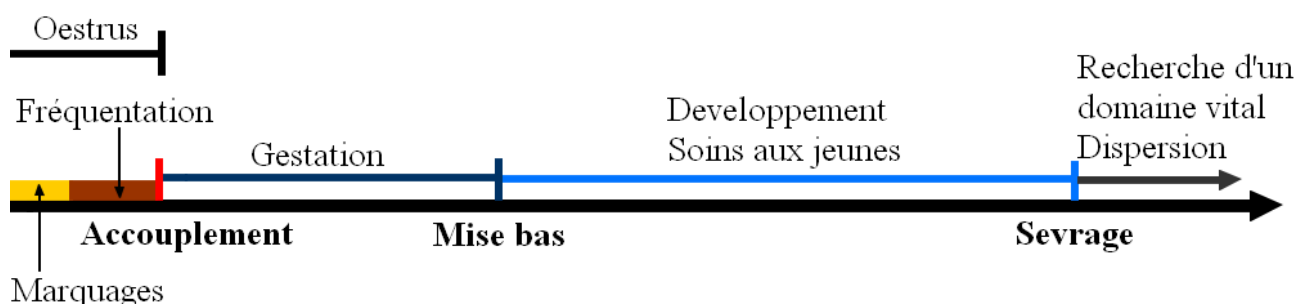
- *Les cris*

On peut également parfois entendre des cris émis par l'écureuil. Ils servent à la communication. (Vaubourdolle, 2002)

B. Reproduction

Les écureuils roux ont une stratégie de reproduction de type K. Leur maturité sexuelle est tardive, intervenant entre huit mois et trois ans, et leur prolificité (taille de portée) réduite. Les chiffres varient selon les auteurs, entre un et sept rejetons par portée, généralement plutôt deux ou trois. Ils s'investissent cependant dans l'élevage de leur progéniture de la naissance jusqu'au sevrage et ont une longévité relativement élevée comparée aux autres rongeurs (Chapuis et Marmet, 2006 ; S. J. Casey, 2011 ; Louarn et Quéré, 2011). Le sexe ratio est proche de 50% de femelles et de mâles. (Lurz *et al.*, 2005). Une étude effectuée en Finlande sur huit ans a déterminé un sexe ratio de 50,9 % de mâles (Turkia *et al.*, 2016).

Figure 13 : Différentes phases de la période de reproduction chez les écureuils roux (figure personnelle).



a. La période de reproduction

La reproduction des écureuils intervient généralement sur deux périodes au cours d'une année. Des accouplements en hiver et au printemps donnent respectivement naissances à des portées au printemps (entre février et avril) et en été (entre mai et août). Comme nous l'avons vu précédemment, dans un milieu où les ressources manquent, la première période de reproduction peut être différée ou ne pas se produire. C'était le cas dans la forêt de feuillus de l'étude de Wauters et Dhondt (1989a) (Tableau 2) (Lurz *et al.*, 2005 ; Chapuis et Marmet, 2006).

b. Le comportement de reproduction

Les sécrétions vaginales contenues dans l'urine laissées par les femelles en œstrus attirent les mâles. Un mâle peut suivre une odeur plusieurs heures et les sécrétions d'une femelle peuvent recruter en moyenne trois à quatre mâles. Les mâles subordonnés ne présentent pas de comportement de rut, seuls les dominants ont une chance de se reproduire. La femelle choisit ensuite un mâle qui pourra s'approcher d'elle plus près que les autres. L'accouplement fait suite à une période de fréquentation entre les deux protagonistes. Le mâle adopte des postures de soumissions et présente son flanc à la femelle. Cette parade nuptiale s'étend sur plusieurs heures. L'accouplement dure moins d'une minute et a lieu généralement l'après-midi. Le mâle défend l'accès à la femelle pendant environ une heure (Figure 13) (Le Barzic, 2013). C'est un système de reproduction polygame par promiscuité, c'est-à-dire qu'il n'existe pas d'association prolongée entre un mâle et une femelle, le premier pouvant s'accoupler avec plusieurs femelles et inversement (Lurz *et al.*, 2005).

c. La réussite de reproduction et la fertilité

La réussite de la reproduction dépend à la fois du milieu et de la condition corporelle des individus. Si les mâles sont féconds sur toute la période de reproduction, les femelles présentent plusieurs œstrus par an (on parle de poly-œstrus) mais ne sont fécondes qu'un jour par cycle (Lurz *et al.*, 2005 ; Chapuis et Marmet, 2006).

La plupart des jeunes femelles se reproduisent dans leur deuxième année de vie, même si certaines parviennent à se reproduire plus tôt (Lurz *et al.*, 2005 ; Chapuis *et al.*, 2012).

Pour les femelles, la masse corporelle et leur rang hiérarchique sont les meilleurs prédicteurs de fertilité. Les femelles dominantes et les plus lourdes ont en effet une longévité plus longue et produisent plus de petits dans leur vie (Wauters et Dhondt, 1989b ; Wauters et Dhondt, 1995 ; Lurz *et al.*, 2005). Chaque année, les femelles n'entrent en œstrus qu'une fois une masse corporelle minimale (300-325 g) atteinte (Wauters et Dhondt, 1989b ; Lurz *et al.*, 2005 ; Chapuis et Marmet, 2006). Une femelle subordonnée, doit cependant obtenir un développement pondéral plus élevé pour entrer en œstrus que celui d'une dominante. On estime ainsi que pour une telle femelle, le seuil nécessaire pour entrer en œstrus se situe entre 345 et 360 g (Wauters et Dhondt, 1989b). La masse corporelle de la mère a une certaine importance dans l'élevage de sa progéniture car elle va perdre du poids pendant la lactation et ce d'autant plus que la taille de la portée est plus élevée. La masse corporelle en début de la lactation et ses fluctuations en phase d'allaitement conditionnent la survie des jeunes (Wauters et Dhondt, 1989b). Plus une femelle est lourde, plus elle augmente la probabilité de se reproduire, et de s'occuper au mieux de ses jeunes (Wauters *et al.*, 1993).

Le mâle dominant obtient un plus grand succès reproducteur que les autres car il s'accouple plus fréquemment (Lurz *et al.*, 2005).

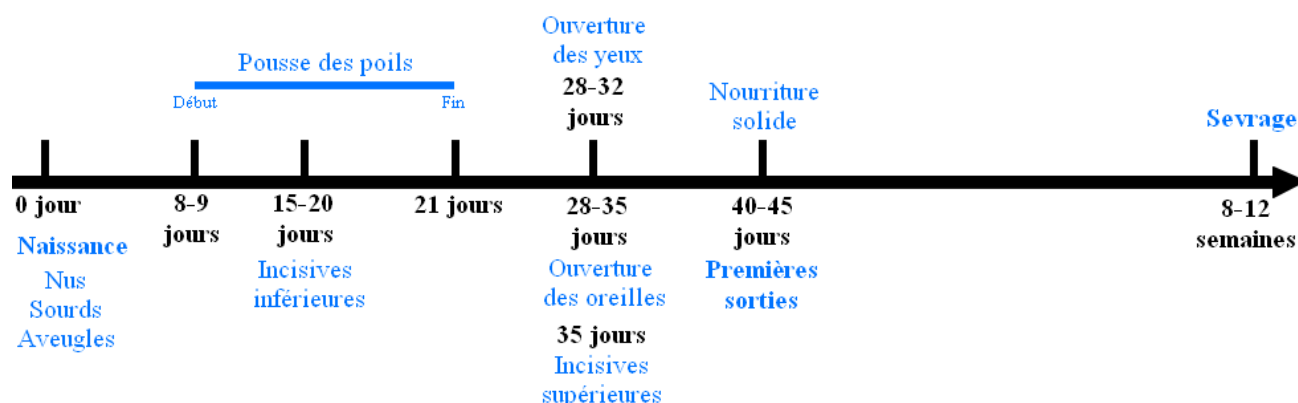
Le succès de reproduction diminue dans un milieu à forte densité et si celui-ci n'est pas favorable. Si on supplémente artificiellement un environnement en ressources, on peut observer une plus forte densité de population. Cependant cela ne permet pas à toutes les femelles de se retrouver en conditions physiologiques suffisantes pour se reproduire. Il existe donc une répression de la reproduction sur les zones à forte densité (Lurz *et al.*, 2005).

d. De la naissance au sevrage

Après l'accouplement, la gestation dure de 38 à 40 jours en moyenne (Figure 13) (Chapuis et Marmet, 2006). L'écureuil roux est nidicole ; la femelle met bas dans un nid et peut en obturer l'entrée (Chapuis *et al.*, 2012). Les petits naissent aveugles, sourds et nus. Ils pèsent entre 10-15 g. La peau initialement rose devient progressivement grise ; les poils commencent à pousser à 8-9 jours, d'abord sur la tête et finissent leur croissance vers 21 jours. Les oreilles s'ouvrent entre 28-35 jours, les yeux entre 28 et 32 jours. Les incisives inférieures percent au bout de 15-20 jours, les supérieures vers 35 jours (Chapuis *et al.*, 2012). Les jeunes commencent à quitter le nid et à manger des aliments solides vers 40-45 jours, ils sont alors capables d'explorer leur environnement immédiat et de grimper. Ils sont sevrés vers huit à douze semaines selon les auteurs. Cependant, l'allaitement et le comportement maternel peut se poursuivre au-delà. La première mue a lieu vers 3-4 mois (Lurz *et al.*, 2005 ; S. J. Casey, 2011) (Figure 13 et 14). La femelle ne revient pas en œstrus tant que sa progéniture n'est pas sevrée (Lurz *et al.*, 2005).

Un juvénile est un individu qui n'a pas encore atteint sa maturité sexuelle, le terme regroupe les juvéniles non sevrés et les juvéniles sevrés ou subadultes.

Figure 14 : Étapes du développement des jeunes de la naissance au sevrage (Figure personnelle d'après (Lurz et al., 2005 ; S. J. Casey, 2011 ; Chapuis et al., 2012))



- Soins aux jeunes

Les femelles s'occupent seules de leurs petits, les mâles n'intervenant pas (S. J. Casey, 2011). On a montré que lors de la période d'allaitement, les femelles présentent un taux de glucocorticoïdes plus élevé qu'en temps normal. Cette période requiert beaucoup d'énergie, laquelle peut être mobilisée par la production de ces stéroïdes (Dantzer et al., 2016).

Deux catégories de soins concernent l'élevage des jeunes. Les soins indirects regroupent la défense contre les prédateurs et les autres écureuils, la construction et l'entretien des nids et l'acquisition des ressources. Les soins directs correspondent aux contacts, au nourrissage, au léchage et à la thermorégulation (Studd, 2012).

Les écureuils manifestent des qualités maternelles certaines en prenant bien soin de leurs petits. La fratrie aura également une importance dans la survie des jeunes, car ceux-ci restent ensemble au moment de la sortie du nid. La mère abandonne le nid à sa dernière portée quelques mois après le sevrage, pour qu'ils puissent s'y réfugier facilement (Vavasseur, 2020).

Les femelles restent avec les petits jour et nuit et ne les laissent seuls que pendant de très courtes phases (S. J. Casey, 2011). Les périodes les plus chaudes de la journée sont privilégiées pour les sorties de la mère, afin de limiter au maximum les pertes thermiques au sein du nid. Une fois que les petits auront atteint une masse corporelle plus importante et que les poils auront poussé, les sorties pourront s'allonger progressivement (Studd, 2012). Elle lèche le périnée pour stimuler l'émission d'urine et de fèces jusqu'à ce qu'ils commencent à ingérer des aliments solides. Elle s'occupe d'eux jusqu'à ce qu'ils soient capables de consommer par eux-mêmes assez de nourriture pour subsister seuls (Figures 13 et 14) (S. J. Casey, 2011).

Pendant la période d'allaitement, les mères peuvent transporter un par un les petits dans un autre nid que celui de leur naissance (Lurz et al., 2005 ; Chapuis et Marmet, 2006 ; Chapuis et al., 2012). Ce comportement est observé aussi bien en milieu naturel qu'en captivité. On note ici l'importance pour une femelle de disposer de plusieurs nids. En effet, en cas d'infestation par des parasites, de dérangement par un prédateur, d'incident naturel ou autre, la femelle déménage sans tarder. Ce comportement de transport est adapté au mode de vie des écureuils roux qui, on le rappelle, sont arboricoles et évoluent à des hauteurs importantes. Une chute pour le jeune serait fatale. Ainsi, chez cette espèce, la mère saisit le jeune par sa face ventrale afin que celui-ci puisse

s'agripper et s'enrouler autour du cou de cette dernière, courant ainsi moins de risque de tomber pendant le transfert (Prescott, 1983).

- *Investissement de la mère*

L'espérance de vie des jeunes à la naissance est faible. En moyenne, 75 à 85 % des juvéniles meurent le premier hiver (Lurz *et al.*, 2005). Moins de 50 % des survivants atteindront l'âge de la reproduction (Wauters et Dhondt, 1995). Cette forte mortalité peut survenir pendant la gestation, durant la période d'allaitement ou lors du sevrage (Lurz *et al.*, 2005). Les causes de mortalité après la naissance sont la famine en cas de diminution des ressources, la prédation, les conditions climatiques extrêmes. L'investissement de la mère dans les soins est donc très important, car plus elle s'investit et plus forte est la probabilité de survie des jeunes (Studd, 2012). On rappelle qu'un individu ayant atteint l'âge de six mois a une espérance de vie de trois à cinq ans environ (Lurz *et al.*, 2005 ; Chapuis *et al.*, 2012).

On peut s'intéresser aux différents mécanismes qui peuvent moduler cet investissement, d'après les connaissances dont nous disposons chez les mammifères.

L'investissement de la mère dans les soins aux jeunes augmente leur futur succès reproducteur, leur assure une meilleure survie et une croissance plus forte mais réduit son propre futur succès reproducteur (Studd, 2012). Ce « choix » va dépendre des conditions environnementales locales. Généralement, cet investissement s'accroît quand les ressources diminuent, les conditions climatiques sont extrêmes et le risque de prédation s'élève.

En cas de conditions défavorables à l'élevage des petits comme celles-ci, la mère a plusieurs solutions (Studd, 2012) :

- augmenter son investissement afin de donner toutes les chances possibles aux jeunes. Mais dans un contexte défavorable, un fort investissement ne suffit pas toujours et les petits peuvent tout de même connaître un taux de croissance réduit et une mortalité accrue. Cela aura également des conséquences négatives sur le futur succès reproducteur de la mère ;
- réduire la taille de sa portée ;
- abandonner la portée pour économiser son énergie pour la prochaine portée, lorsque les conditions seront meilleures.

D'après une étude sur une population d'écureuils roux d'Amérique (*Tamiasciurus hudsonicus*), on peut observer de nombreuses pertes dans deux cas :

- lorsque les ressources ne sont pas suffisantes et que les températures sont basses, ce qui augmente le coût d'investissement de la mère dans les soins.
- lorsque les ressources sont abondantes et que les températures sont élevées, ce qui augmente le succès de reproduction des adultes.

Dans le premier cas, le « but » sera de produire « moins mais mieux », pour que les petits qui réussissent à aller jusqu'au sevrage dans ces conditions défavorables puissent survivre ensuite à la compétition qui en découle. Les pertes peuvent être liées aux trois situations citées précédemment. Dans le second cas, le « but » sera de produire la descendance la plus importante possible et ce au détriment de la qualité de la progéniture ; les ressources en abondance et les bonnes conditions permettent aux femelles de produire des portées nombreuses. Leur succès reproducteur étant très élevé, les adultes privilégient le nombre de portées à l'investissement de la mère. Les pertes sont donc liées à un investissement moins intense de la mère et à des portées de grande taille. S'occuper

de plus de petits va demander plus d'énergie, que la mère va préférer garder pour faire une autre portée par la suite, donc ne s'investit pas davantage dans la phase d'élevage de sa progéniture.

Des études plus approfondies sur l'investissement des mères de l'espèce écureuil roux d'Europe seraient utiles afin de mieux connaître ce comportement dans cette espèce.

e. La dispersion

Comme nous l'avons déjà évoqué, à la suite du sevrage, certains jeunes restent à proximité de leur lieu de naissance tandis que d'autres se dispersent plus loin (Figure 13). La philopatrie, soit le fait de rester ou revenir sur son lieu de naissance pour se reproduire demeure cependant rare (Lurz *et al.*, 2005).

La dispersion d'été concerne les jeunes nés au printemps ; en automne, on retrouve les jeunes nés en été mais aussi des adultes qui changent de domaine vital. Au printemps on peut également voir des adultes se disperser pour changer de domaine après l'hiver (Lurz *et al.*, 2005). Dans une population stable, la majorité des dispersions concernent les jeunes écureuils (Wauters et Dhondt, 1993). D'après une étude réalisée en Belgique, 50 % des jeunes de l'année ont parcouru entre 300 m et 1,5 km, avec une forte influence de la densité et un moindre effet des ressources disponibles (Wauters *et al.*, 2010).

Selon une autre étude sur une population d'écureuils roux en Belgique, la masse corporelle au sevrage explique le mieux la probabilité de recrutement local des jeunes. On remarque aussi que davantage de jeunes nés tôt dans la saison sont recrutés par rapport à ceux nés plus tard, sans qu'il y ait de variation significative de leur masse corporelle au sevrage. On peut émettre l'hypothèse que les jeunes nés plus tôt bénéficient du fait qu'ils quittent plus tôt leur mère et ont davantage de temps pour se trouver un domaine vital, alors qu'il ne restera plus d'espace libre pour les portées plus tardives (Wauters *et al.*, 1993). Quoi qu'il en soit, la masse corporelle au sevrage et la date de naissance affectent la probabilité de survie locale (Lurz *et al.*, 2005), surtout lorsqu'il existe une compétition intra-spécifique pour l'espace disponible. Cependant on note qu'il n'y a pas de corrélation entre la masse corporelle au sevrage et celle à 18 mois, qui dépend sans doute beaucoup de la compétition existant autour de son domaine entre le sevrage de l'écureuil et son 18^{ème} mois d'existence (Wauters *et al.*, 1993). Ainsi la compétition locale détermine la distance de dispersion au sevrage (Lurz *et al.*, 2005).

Une autre étude réalisée en Belgique, a observé que les mâles se dispersaient plutôt au printemps et les femelles plutôt en automne. Ceci s'explique par une plus forte hiérarchie au sein d'un même sexe. Au printemps, les mâles étendent leur domaine vital alors que les femelles ont plutôt tendance à le réduire autour des nids. Ainsi la compétition entre mâles est plus forte forçant les moins agressifs ou les moins dominants à partir. La même situation se produit pour les femelles à l'automne lorsqu'elles défendent davantage leur nourriture (Wauters et Dhondt, 1993).

L'organisation sociale et la dispersion dépendent beaucoup du sexe (Wauters *et al.*, 2004), c'est donc la compétition entre femelles d'une part et entre mâles d'autre part qui détermine quels individus de chaque sexe vont finalement se disperser ou rester (Wauters *et al.*, 1993 ; Wauters et Dhondt, 1993 ; Luc A. Wauters *et al.*, 1994). La survie semble équivalente entre les individus qui se sont dispersés et ceux qui restent sur place (Luc A. Wauters *et al.*, 1994), suggérant que tous y trouvent leur compte soit en s'imposant tout en restant sur place, soit en s'éloignant pour fuir la compétition locale et trouver un lieu propice à sa survie.

C. Alimentation

a. La nourriture de l'écureuil roux

L'écureuil roux se nourrit de baies, de fruits, de champignons, et de graines d'arbres principalement (graines de conifères, faînes (fruit du hêtre (*Fagus spp.*), noisettes (*Corylus spp.*), noix (*Juglans regia*), graines du charme (*Carpinus betulus*)). Si les graines ne sont pas disponibles, il consomme aussi des bourgeons, l'écorce des arbres, des fleurs, des jeunes pousses mais aussi des œufs d'oiseaux, des oisillons, des invertébrés (insectes, gastéropodes) et du lichen. L'écureuil roux est donc un omnivore opportuniste, même si sa nourriture principale est constituée de végétaux (Lurz *et al.*, 2005 ; Chapuis et Marmet, 2006).

Sa nourriture est très variée ; c'est une espèce généraliste qui ingère ce qu'il trouve pour s'alimenter. Les ressources constituent un paramètre important pour la vie de l'écureuil : elles influent sur sa masse corporelle donc sur sa survie pendant l'hiver et sur son succès reproducteur ultérieur. La densité varie en fonction des ressources, en augmentant lorsque la disponibilité en nourriture est plus stable. Si la production de graines diminue, le domaine vital s'étend afin de prospecter des surfaces plus grandes en quête de nourriture, et le taux d'émigration augmente corrélativement. Un type de graine donné sera privilégié en fonction de sa densité énergétique et de sa facilité d'ouverture (Krauze-Gryz et Gryz, 2015).

b. Le comportement alimentaire

L'écureuil passe 60 à 80 % de son temps à chercher de la nourriture et à manger. Il présente un comportement d'accumulation des ressources, lui permettant comme on le verra d'avoir de quoi se nourrir toute l'année. On peut noter que la mémoire spatiale de l'écureuil roux pour retrouver ses réserves ne semble pas se prolonger aussi longtemps que celle de l'écureuil gris (Lurz *et al.*, 2005).

- *Comment un écureuil s'alimente-t-il ?*

Une étude s'est intéressée à la latérisation de la manipulation des graines. La plupart des écureuils sont droitiers : ils tiennent la graine de la main gauche et la manipulent de la main droite. Ils mangent également grâce à l'hémimandibule droite. D'après les auteurs, ceci peut provenir d'une asymétrie morphologique (par exemple une minéralisation plus importante de la mâchoire d'un côté), et/ou cérébrale. Cette adaptation pourrait avoir permis aux écureuils de gagner en efficacité dans la recherche des graines et d'optimiser leur ingestion tout demeurant vigilant pour surveiller les environs (Polo-Cavia *et al.*, 2015).

- *Pourquoi accumuler des ressources ?*

- A court terme : rendre les ressources disponibles toute l'année

Le premier avantage lié à l'accumulation des ressources est de pouvoir rendre la nourriture disponible toute l'année. En effet, les aliments sont abondants en automne, mais viennent à manquer au printemps (Tableau 1 et 2).

En automne, les graines des arbres constituent la majeure partie de son régime alimentaire. Elles sont abondantes et riches en éléments nutritifs. L'écureuil les éparpille par ses déplacements, de préférence au pied des arbres ou dans des trous d'arbres. Les champignons sont également cachés à cette même période, préalablement séchés (Chapuis et Marmet, 2006 ; Chapuis *et al.*,

2012). Par ce comportement, il participe à la régénération des parcelles forestières (Wauters et Casale, 1996 ; Chapuis *et al.*, 2012).

L'hiver, le but pour l'écureuil roux consiste à trouver à se nourrir, notamment à retrouver la nourriture qu'il a caché à l'automne, et en parallèle à économiser son énergie en restant dans son nid (Lurz *et al.*, 2005).

Au printemps, les écureuils en pleine période de reproduction puis de lactation et de soins aux jeunes, ont besoin de beaucoup d'énergie dont la principale source proviendra des graines cachées l'automne précédent.

Dans les forêts de conifères, les graines cachées sont le plus souvent retrouvées par les individus qui les ont dissimulées. Cette situation ne se trouve pas vérifiée en forêts de feuillus. Une plus grande probabilité de retrouver les cônes de pin par rapport aux graines de feuillus pourrait expliquer cette différence (Wauters *et al.*, 1995).

Lorsqu'on s'intéresse à la différence entre forêts de conifères et de feuillus pour ce qui concerne l'amassage de ressources, on remarque que les écureuils passent plus de temps à manger dans les premières. Les graines de feuillus sont en effet plus volumineuses et faciles à décortiquer. Par contre, la distance parcourue pour trouver cette nourriture est plus importante, ce qui augmente la demande en énergie (Wauters *et al.*, 1992). Ce qui est amassé dans les forêts de feuillus permet en termes d'énergie de survivre plus longtemps que ce qui est récupéré dans les forêts de conifères. En effet, les ressources étant moins réparties et la compétition étant importante en automne, les écureuils doivent stocker en quantité et ces réserves sont utilisées plus tôt dans l'année. Dans les forêts de feuillus, 60 % de ce qui a été caché a déjà été utilisé fin mars ; dans les forêts de conifères, 35 % est consommé entre septembre et janvier, et 60 % est utilisé de février à juin (Wauters et Casale, 1996).

□ A long terme : Améliorer leur longévité

Une étude a observé deux populations d'écureuils dans deux forêts distinctes en Belgique. L'accumulation de réserves permet aux écureuils, à moyen terme d'augmenter leur masse corporelle et à long terme d'accroître leur longévité. Il n'y a pas de corrélation entre l'accumulation des réserves et le nombre de petits sevrés dans la vie d'une femelle. Cependant, la masse corporelle étant un critère déterminant du succès reproducteur et la longévité permettant de produire des portées sur davantage d'années, on peut dire que le comportement d'accumulation de réserves a un effet indirect sur le succès reproducteur. La non-corrélation entre les deux items vient des nombreux facteurs qui entrent en jeu pour la survie des petits (Wauters *et al.*, 1995).

En somme, accumuler des ressources permet un apport plus stable en ressources, ce qui permet d'augmenter leur masse corporelle. Celle-ci joue un rôle important dans le statut hiérarchique et dans le succès reproducteur. Ainsi, les individus les plus lourds ont un domaine vital de meilleure qualité et peuvent avoir accès à de meilleures ressources. La longévité de ces individus est donc accrue.

• *Comment les cacher ?*

Une étude effectuée au nord-est de la Chine a mis en évidence qu'en cas de forte disponibilité de ressources, la densité des cachettes de nourriture était augmentée, et la distance au lieu de ramassage diminuée. Ceci permet d'économiser l'énergie nécessaire à la mise en cachette des ressources ; cependant, elles sont ainsi plus faciles à trouver et les vols sont plus fréquents. On ne

retrouve pas ce schéma en cas de moindre disponibilité des ressources. En effet, dans ce cas, la nourriture ne sera pas suffisamment disponible pour tout le monde et l'objectif sera de limiter les vols. Ainsi, la distance entre le lieu de ramassage et la cachette augmente, et la densité diminue avec la distance (Rong *et al.*, 2013).

Une autre étude effectuée en Italie du nord met en évidence une adaptation de la méthode de dissimulation en fonction du milieu. En effet, les écureuils placent plus de graines dans la même cachette lorsqu'ils sont dans un milieu à forte disponibilité de nourriture. Cela permet un gain d'énergie mais aussi plus de vols. Ces résultats vont dans le même sens que l'étude précédente (Zong *et al.*, 2014).

Les écureuils roux doivent trouver un équilibre entre l'énergie dépensée à dissimuler les ressources et l'énergie qu'ils vont pouvoir récupérer en retrouvant leurs cachettes, sans que la nourriture ait été volée. Ceci va dépendre de la disponibilité globale en ressources du milieu.

Après avoir abordé plusieurs aspects de la biologie de l'espèce, nous allons maintenant envisager quelles sont les menaces qui pèsent sur l'écureuil roux.

3. Principales affections rencontrées et autres menaces pour l'espèce

A. Principales affections rencontrées :

Dans deux études s'intéressant aux causes de mortalités à partir de cadavres d'écureuils roux en Grande-Bretagne, le pourcentage de morts imputables à des maladies était estimé à environ 35 % (V. R. Simpson *et al.*, 2013a ; Blackett *et al.*, 2018). Les maladies représentent la deuxième cause de mortalité chez les écureuils roux.

a. Maladies d'origine infectieuse

Nous allons voir quelles sont les maladies d'origine infectieuse qui touchent *Sciurus vulgaris*. Les principaux agents pathogènes responsables de ces maladies se recrutent parmi les parasites et les virus. Les infections bactériennes et fongiques sont plus rares en milieu naturel.

- *Parasitisme externe*

Les ectoparasites des écureuils roux ne sont pas les mêmes en fonction des régions du monde. On ne trouvera pas les mêmes parasites en France ou en Italie qu'en Corée (Romeo *et al.*, 2013 ; Choe *et al.*, 2016). Nous nous intéresserons en premier aux études menées en France ou à proximité.

Une étude menée en Italie et en France sur un grand nombre de cadavres d'écureuils a pu relever trois espèces de puces, deux espèces de poux et deux espèces de tiques. Dans une autre étude effectuée en Angleterre, 29 % des individus étaient infestés par des parasites externes (LaRose *et al.*, 2010). Bien que cette faible population parasitaire fût attendue du fait du comportement solitaire de l'écureuil roux, les ectoparasites sont peut-être sous-estimés par le fait que les études soient faites sur des animaux morts. Les parasites ont donc pu quitter les individus avant la récupération des cadavres (Romeo *et al.*, 2013).

- Pulicose

L'espèce de puces majoritairement retrouvée est *Ceratophyllus (Monopsyllus) sciurorum*, qui n'est pas spécifique de l'écureuil roux ; on la retrouve notamment chez l'écureuil gris. Elle est présente partout, quel que soit le climat. Cependant, l'infestation est plus importante en automne et en été, où l'activité est la plus élevée, et moindre en hiver (Romeo *et al.*, 2013).

- Phtiriose

Les écureuils roux peuvent être infestés par les poux. Une espèce est majoritairement retrouvée dans une étude en France et en Italie : *Neohaematopinus sciuri* (Romeo *et al.*, 2013). Celle-ci peut mener à la mort de l'individu par anémie en cas d'infestation très importante, surtout chez les jeunes (Duff *et al.*, 2010). On retrouve également *Enderleinellus nitzchi* (Lurz *et al.*, 2005).

- Infestation par les tiques

En France, *Ixodes ricinus* a été retrouvée chez 1/3 des écureuils d'après une étude (Romeo *et al.*, 2013). Les individus de la région méditerranéenne semblent épargnés et les jeunes moins touchés (Pisanu *et al.*, 2014). On en trouve dans 25 % des cas dans une étude réalisée en Angleterre (V. R. Simpson *et al.*, 2013a). Certains individus peuvent être très fortement infestés. Les tiques sont retrouvées au niveau des oreilles, du menton et du cou principalement, ainsi que sur la zone axillaire (Humair et Gern, 1998). Il semblerait qu'ils soient majoritairement infestés par les formes immatures (larve et nymphe), et que leur prévalence diminue avec l'altitude (Humair et Gern, 1998 ; Pisanu *et al.*, 2014). Les tiques sont majoritairement retrouvées sur les individus au printemps et en été (Pisanu *et al.*, 2014).

Les tiques sont connues pour être vecteurs de maladies, comme la borréliose. L'écureuil roux jouerait un rôle de réservoir pour *Borrelia burgdorferi sensu stricto* et *Borrelia afzelii* (Humair et Gern, 1998), c'est-à-dire qu'il « héberge et permet la survie prolongée de ces agents pathogènes » (Larousse, 2020b).

- Acariose

Certains acariens ont également été retrouvés sur certains cadavres. *Dermacarus sciurinus* est l'espèce majoritairement retrouvée d'après des études effectuées en Angleterre (V. R. Simpson *et al.*, 2013a ; Blackett *et al.*, 2018).

- *Parasitisme interne*

- Coccidiose

Il semble exister une forte prévalence des coccidies parmi la population des écureuils roux (Bertolino *et al.*, 2003 ; Hofmannová *et al.*, 2016). On retrouve le genre *Eimeria*, très représenté dans une étude effectuée sur deux ans en Italie (Bertolino *et al.*, 2003). Il n'y a *a priori* pas de perte de poids associée, donc pas d'effet sur la survie des animaux infectés (Bertolino *et al.*, 2003).

Dans cette étude, les 116 échantillons fécaux ont été relevés sur cinq lieux différents, tous dans des forêts de conifères des Alpes. Quatre-vingt-trois pourcent des échantillons comportaient au moins une espèce d'*Eimeria*. L'espèce majoritairement retrouvée (80 %) est *Eimeria sciurorum*, suivie par *Eimeria andrewsi* (Bertolino *et al.*, 2003). Une autre étude effectuée en Italie n'identifie pas les mêmes espèces, bien qu'*Eimeria sciurorum* soit également l'espèce majoritaire chez *Sciurus vulgaris*. Là encore, la prévalence est très élevée, à hauteur de 95,6 % chez l'écureuil roux

(Hofmannová *et al.*, 2016). Il semble donc que les coccidies soient très présentes chez les écureuils roux, et qu'il existe un grand nombre d'espèces de parasites les infestant, avec des différences et des spécificités propres. Par exemple, *Eimeria mira* semble uniquement retrouvée chez *Sciurus vulgaris* et est majoritairement présente en altitude (Hofmannová *et al.*, 2016).

Cette dernière étude a comparé les espèces retrouvées chez trois espèces d'écureuils : une endémique, *Sciurus vulgaris*, et deux espèces envahissantes *Sciurus carolinensis* et *Callosciurus erythraeus*. Il est intéressant de noter que toutes les espèces sont trouvées chez *Sciurus vulgaris*. Des oocystes de même morphologie sont retrouvés à la fois chez *Sciurus vulgaris* et *Sciurus carolinensis*. Cependant, la taxonomie moléculaire permet d'attribuer ces oocystes en deux espèces différentes. Ceci suggère que l'écureuil gris, espèce envahissante, a apporté avec lui une coccidie spécifique de son espèce, mais que celle-ci ne passe *a priori* pas la barrière d'espèce. Des oocystes de morphologie identique sont retrouvés chez *Callosciurus erythraeus*, mais en trop faible quantité pour pouvoir être précisément identifiés. Cette faible quantité peut suggérer que cette coccidie n'est pas spécifique de cette espèce et aurait été transmise par les écureuils roux endémiques, cependant des études supplémentaires sont nécessaires pour statuer sur ce point. Cette étude n'apporte néanmoins aucune preuve d'un passage de coccidies d'une espèce d'écureuil à l'autre (Hofmannová *et al.*, 2016).

A l'instar du genre *Eimeria*, les écureuils roux peuvent être infectés par le genre *Cryptosporidium*, qui regroupe plusieurs espèces et génotypes et différentes spécificités d'hôtes (Prediger *et al.*, 2017). Deux études menées en Italie rapportent une prévalence oscillant entre 10 % et 24 % d'écureuils roux infectés. Toutes deux ne montrent aucune différence d'infection en fonction du sexe et de l'âge (Kvác *et al.*, 2008 ; Prediger *et al.*, 2017).

Certaines espèces de *Cryptosporidium* sont infectantes pour l'homme, l'écureuil roux étant excréteurs représente donc un réservoir potentiel d'oocystes. Sa proximité avec l'homme en zone urbaine incite à l'étude de cette population de parasites (Kvác *et al.*, 2008), bien qu'elle ne semble pas déclencher de signes cliniques chez cette espèce (Prediger *et al.*, 2017).

Tout comme pour *Eimeria*, aucune preuve d'un passage entre les espèces envahissantes et les espèces autochtones n'a pu être apportée. Par contre, on sait que certaines espèces de *Cryptosporidium* comme *d'Eimeria*, ont été introduites en Europe avec leurs hôtes (Prediger *et al.*, 2017).

□ Helminthose

L'écureuil roux étant une espèce solitaire, la communauté d'helminthes est assez pauvre. Plusieurs études se sont intéressées au parasitisme chez *Sciurus vulgaris*, identifiant des populations d'helminthes différentes en fonction des régions du monde.

Les helminthes représentent un groupe de parasites qui inclut les Plathelminthes (Trématodes et Cestodes) et les Nématodes. Environ 30 espèces d'helminthes parasitent les écureuils roux, certains spécifiquement comme *Trypanoxyuris sciuri* (Tableau 3) (Romeo *et al.*, 2015) ou *Syphacia thompsoni* (Shimalov, 2016). Deux études menées en Biélorussie ont pu identifier *S. thompsoni* comme étant le parasite majoritairement retrouvé chez les écureuils roux de la région étudiée. Ces parasites sont retrouvés en plus ou moins grand nombre dans le tube digestif des individus infestés (Shimalov et Shimalov, 2002 ; Shimalov, 2016). On peut noter que certains helminthes infestant les écureuils roux peuvent aussi infester les humains (Shimalov et Shimalov, 2002).

Dans une autre étude basée sur 356 cadavres d'écureuils roux récupérés en France et en Italie ont été rapportés cinq espèces différentes de nématodes, quelques cestodes non identifiés, et aucun trématode. L'espèce de nématode la plus représentée était *Trypanoxyuris sciuri* (Romeo *et al.*, 2013). *Syphacia thompsoni* n'était pas signalé dans cette étude, ce qui suggère que cette espèce serait endémique de la Biélorussie.

En France et en Italie, l'infestation semble plus importante en climat continental qu'alpin ou océanique. Cela peut s'expliquer par le fait que les densités d'écureuils roux et la fréquence de leurs contacts sont plus importantes dans ces zones, davantage urbanisées, et au climat moins rude qu'en montagne. De plus, l'infestation est significativement moins importante en été, en lien avec le fait qu'à cette période, les écureuils roux sont moins en contact les uns des autres et passent moins de temps au nid. En effet, la transmission peut se faire par contacts directs, plus fréquents pendant la période de reproduction (janvier à mai), et par le partage des nids le reste de l'année (Romeo *et al.*, 2013).

L'étude de ces parasites est également importante car l'invasion des écureuils gris semblent avoir une influence sur les infestations des populations endémiques (Romeo *et al.*, 2015). En effet, *Strongyloides robustus* qui est un nématode connu comme infestant les écureuils gris a été retrouvé chez deux écureuils roux vivant en cohabitation avec des écureuils gris en Italie (Romeo *et al.*, 2013).

On peut également citer *Capillaria hepatica*, un nématode qui a un tropisme hépatique notamment, dont les lésions ont pu être associées à la mort de l'animal dans 0,7 % des cas d'après une étude (Blackett *et al.*, 2018).

□ Toxoplasmose

Toxoplasma gondii est un parasite protozoaire responsable de maladies chez l'homme et chez plusieurs mammifères. L'écureuil roux représente un hôte intermédiaire dans le cycle de ce parasite. Il ne constitue en soi pas une réelle menace pour l'homme en tant que tel mais peut être chassé par les chats qui font partie des hôtes définitifs que représentent les félins. Ainsi, les écureuils roux participent au maintien de ce parasite et à la transmission aux chats qui eux vivent à proximité de l'homme et sont excréteurs d'oocystes. Ceux-ci sporulent et deviennent infectants en l'espace d'un jour environ selon les conditions de température et d'humidité ambiantes. L'oocyste sporulé peut rester sur un sol humide plusieurs mois voire plusieurs années (Kik *et al.*, 2015).

Dans une étude, les auteurs ont pu identifier le génotype de type II de *Toxoplasma gondii* chez trois écureuils roux et ont examiné les lésions associées (Jokelainen et Nylund, 2012). Une autre étude réalisée aux Pays-Bas à la suite d'une forte mortalité parmi une population d'écureuils roux a pu mettre en évidence le même génotype chez les individus infectés, et identifier des lésions identiques à l'autopsie (Tableau 3). La cytologie du poumon, du foie et de la rate révèle de nombreux organismes compatibles avec des tachyzoïtes de *Toxoplasma gondii*. A l'étude histologique on observe ainsi une infiltration interstitielle lymphoplasmocytaire et neutrophilique avec des œdèmes et de nombreux macrophages intra-alvéolaires au niveau du poumon. On retrouve aussi une infiltration lymphoplasmocytaire multifocale nécrotique au niveau du foie. Le génotype mis en cause est le type le plus souvent impliqué dans les cas humains (Kik *et al.*, 2015).

La forte prévalence de cas de toxoplasmose (> 50 %) dans la deuxième étude a été reliée à une plus forte exposition au parasite, sans que cela ne soit réellement prouvé (Kik *et al.*, 2015). Néanmoins, nous pouvons comprendre l'importance des mesures de prévention à respecter vis-à-

vis de cette maladie, du fait de son potentiel zoonotique d'une part et de son importante pathogénicité au sein des populations d'écureuils. En effet, les écureuils sont particulièrement sensibles à ce parasite, dont certaines souches peuvent être létales. Le parasite serait responsable de 10 % des décès sur l'île de Wight (Jokelainen et Nylund, 2012 ; V. R. Simpson *et al.*, 2013a). Le risque de contamination est accru par la supplémentation alimentaire mise en place par l'homme dans les jardins, attirant les écureuils près du lieu de vie des chats (*Felis silvestris catus*) (V. R. Simpson *et al.*, 2013a). La prévalence de cette maladie semble se situer entre 16 et 20 % (Jokelainen et Nylund, 2012 ; V. R. Simpson *et al.*, 2013a).

Tableau 3 : Résumé des principaux parasites connus chez les écureuils roux d'Europe
¹Humair et Gern, 1998 ; ²Shimalov et Shimalov, 2002 ; ³Bertolino *et al.*, 2003 ;
⁴Simpson *et al.*, 2006 ; ⁵Kvác *et al.*, 2008 ; ⁶LaRose *et al.*, 2010 ; ⁷Jokelainen et Nylund, 2012 ;
⁸Romeo *et al.*, 2013 ; ⁹Simpson *et al.*, 2013 ; ¹⁰Pisanu *et al.*, 2014 ; ¹¹Kik *et al.*, 2015 ;
¹²Romeo *et al.*, 2015 ; ¹³Choe *et al.*, 2016 ; ¹⁴Hofmannová *et al.*, 2016 ; ¹⁵Shimalov, 2016 ;
¹⁶Prediger *et al.*, 2017 ; ¹⁷Blackett *et al.*, 2018)

Catégorie	Agent pathogène	Zoonose	Létalité	Transmission	Signes cliniques	Prévalence
Ectoparasites (puces, tiques, poux) ^{8,6,10,9,1,13,17}	<i>Ceratophyllus sciurorum</i> <i>Ixodes ricinus</i> <i>Neohaematopinus sciuri</i>	Vecteurs de zoonoses (<i>Borrelia</i> spp.)	Non, sauf forte infestation sur les juvéniles	Contacts, environnement	Possible anémie	Environ 30 %
Coccidies ^{5,3,16,14}	<i>Eimeria sciurorum</i> ; <i>Eimeria andrewsi</i>	Non	Non, sauf forte infestation avec intussusception	Oro-fécale Environnement par les oocystes	Le plus souvent asymptomatique	83-96 %
	<i>Cryptosporidium</i>	Possible	Non sauf forte infestation avec intussusception	Oro-fécale environnement par les oocystes	Le plus souvent asymptomatique	10-24 %
Helminthes ^{8,2,15,12}	Plus de 30 espèces dont <i>Trypanoxyuris sciuri</i>	Certaines espèces	Possible en cas de forte infestation	Contacts rapprochés, environnement	Signes proportionnels à l'intensité de l'infestation : entérite hémorragique dans les cas graves	La présence d'espèces envahissantes augmente la prévalence
Protozoaire ^{9,7,4,11}	<i>Toxoplasma gondii</i>	Oui	Oui	Orale par oocystes excrétés par les chats	Sans signe clinique	16-20 %
	<i>Hepatozoon</i> spp.	?	Non	?	Signes respiratoires	33 % (île of Wight)

□ Hepatozoonose

Une étude a rapporté l'existence d'un protozoaire dans les poumons de certains écureuils roux étudiés en Angleterre. Cette infection est liée à des signes respiratoires (Simpson *et al.*, 2006 ; V. R. Simpson *et al.*, 2013a). Ce parasite a été identifié comme appartenant à une espèce d'*Hepatozoon* mais n'a pas pu être clairement caractérisée. La prévalence de cette infestation semble plus élevée chez les animaux concomitamment infectés par *Toxoplasma gondii* ou *Bordetella bronchiseptica*. Les auteurs suggèrent que la baisse d'immunité imputable à l'infection par *Hepatozoon* favorise les co-infections. Une espèce d'*Hepatozoon* est connue pour infecter les écureuils gris. Il faudrait davantage de travaux de recherche afin de savoir si ces derniers qui sont à l'origine de l'infection chez les écureuils roux, et si *Hepatozoon* est présent en dehors des frontières de l'Angleterre (Simpson *et al.*, 2006).

□ Infection par Babesia-like

L'étude de six cadavres de *Sciurus vulgaris orientis* a mis en évidence la présence d'un parasite intra-érythrocytaire dont la morphologie est proche de *Babesia microti*. Le génotypage de cet agent pathogène n'a pas permis d'identifier clairement le type. *Babesia microti* étant un agent de zoonose, une étude sur un plus grand nombre d'individus serait intéressante. A ce jour, il n'y a aucune preuve de l'existence d'une telle infection chez *Sciurus vulgaris* ailleurs qu'au Japon (Tsuji *et al.*, 2006).

• *Infections d'origine virale*

□ Poxvirose

○ Qu'est-ce qu'un Poxvirus ?

Les Poxvirus font partie de la famille des *Poxviridae* qui comprend elle-même deux sous-familles : les *Chordopoxvirinae* qui affectent les vertébrés, en opposition aux *Entomovirinae* qui infectent les invertébrés. Au sein de la sous-famille des *Chordopoxvirinae*, on identifie plusieurs genres (McInnes *et al.*, 2006). Au milieu du 20^{ème} siècle, un nouveau virus a été découvert dans les populations d'écureuils roux en Angleterre, mais aucune étude n'a permis de le classer parmi les genres déjà connus (Thomas *et al.*, 2003 ; McInnes *et al.*, 2006). Une étude plus poussée a conclu que ce virus faisait partie d'un nouveau genre, comportant des séquences codantes propres (Darby *et al.*, 2014). Il sera nommé le Squirrel Poxvirus (SQPV).

○ Les signes cliniques

Il existe une forte mortalité chez les individus infectés. Cette maladie est même incriminée dans le déclin de l'écureuil roux en Angleterre.

Elle provoque chez cette espèce une dermatite érythémateuse, érosive à ulcéraire avec des croûtes hémorragiques (Tableau 4). Les signes cliniques sont surtout retrouvés sur les lèvres, la zone périoculaire, les oreilles, le nez, puis s'étendent aux doigts, à la queue, à la région génitale et périanale, et à la zone thoracique ventrale (Fiegna *et al.*, 2016 ; Wibbelt *et al.*, 2017). L'observation au microscope des lésions cutanées ont révélé une dégénérescence des kératinocytes (altération cellulaire visualisée par un gonflement cytoplasmique et un noyau de grande taille et irrégulier) ainsi que des inclusions intracytoplasmiques virales au niveau du derme (McInnes *et al.*, 2009). On constate souvent une inflammation suppurative associée à une infection bactérienne secondaire (Wibbelt *et al.*, 2017) ; les écureuils sont également retrouvés avec un état général variable

(McInnes *et al.*, 2009 ; Carroll *et al.*, 2009) présentant de la diarrhée (Collins *et al.*, 2014) bien que leur tractus digestif soit souvent rempli, ce qui suppose qu'ils continuent de s'alimenter (McInnes *et al.*, 2009), se déplacent encore et donc en conséquence peuvent diffuser le virus (Carroll *et al.*, 2009).

Une étude se basant sur l'inoculation du virus à trois écureuils roux par scarification cutanée, a permis de préciser, que pour ces trois animaux, la période d'incubation était comprise entre huit et dix jours (Fiegna *et al.*, 2016). Ceci coïncide avec une autre étude qui a observé une période d'incubation inférieure à 15 jours. La survie post-infection serait d'environ dix jours (Carroll *et al.*, 2009). Le virus se réplique au niveau de la peau (Atkin *et al.*, 2010).

Il n'y a jamais eu de signes cliniques rapportés sur des humains suite à la manipulation des écureuils atteints, ce virus ne semble donc pas avoir un caractère zoonotique (Wibbelt *et al.*, 2017).

- La transmission

Le virus proviendrait des écureuils gris introduits au Royaume-Uni au début du 20^{ème} siècle. Ceux-ci semblent constituer le réservoir du virus. Ce point sera détaillé plus tard.

L'étude des échantillons des animaux malades révèlent que le virus se trouve particulièrement présent au niveau de la peau, des muqueuses orales, des croûtes et les fèces (Fiegna *et al.*, 2016).

La transmission de ce virus n'est pas clairement caractérisée. Il existe plusieurs hypothèses à ce sujet : par l'environnement, par contact direct, par l'intermédiaire de vecteurs. Certaines études ont permis de détecter le virus entre autres dans la salive et les fèces. Ceci va dans le sens d'une transmission fécale-orale. Les individus pourraient s'inoculer eux-mêmes le virus par léchage d'abrasions cutanées, par morsure (Fiegna *et al.*, 2016). D'après une étude qui a observé les déplacements d'animaux malades et la progression de l'infection, l'hypothèse de transmission par contact direct est privilégiée (Carroll *et al.*, 2009).

L'observation de diarrhée chez les individus infectés et le fait que le virus soit retrouvé dans les fèces comme dans l'urine amènent à penser que la transmission par l'environnement est possible. Les individus pourraient se contaminer sur les lieux de marquages par exemple (Collins *et al.*, 2014).

Une autre étude a retrouvé le virus dans des puces (*Monopsyllus sciurorum* et *Orchopeas howardi*) pouvant se nourrir sur l'écureuil gris et l'écureuil roux. Ceci renforce l'hypothèse d'une transmission vectorielle, sans qu'on puisse établir si les puces représentent un simple transporteur ou un véritable hôte intermédiaire (Atkin *et al.*, 2010). Cette voie est confortée par les résultats d'une étude effectuée dans le nord de l'Irlande qui a constaté, sur une période de deux ans, une prévalence de la maladie plus importante au printemps et en été, époque où les vecteurs comme les puces et les tiques sont les plus présentes (Atkin *et al.*, 2010). En revanche, une autre étude, très solide car portant sur la collecte de plus de 500 cadavres d'écureuils sur 13 années n'a pas pu constater de variations saisonnières significatives de la prévalence, ce qui suggère plutôt une transmission par contacts ou par l'environnement (Sainsbury *et al.*, 2008). Une étude sur 262 cadavres en Ecosse ne soutient pas cette hypothèse. Si les écureuils infectés par le virus ont davantage tendance à avoir des puces, ceux qui ont des ectoparasites n'ont pas plus tendance à être infectés par le virus. Ce serait donc l'infection par le virus qui prédisposerait à l'infestation par les puces et non l'inverse (LaRose *et al.*, 2010).

Il semblerait que les mâles soient plus touchés que les femelles, ceci étant relié au fait que les domaines des mâles sont plus étendus et l'exposition au virus potentiellement plus forte (Sainsbury *et al.*, 2008). Cependant, une autre étude ne montre pas de différence entre les sexes. Par contre seuls les subadultes et les adultes semblent être touchés dans cette étude, les juvéniles non sevrés étant *a priori* épargnés (LaRose *et al.*, 2010). Dans les modèles qui s'intéressent à la propagation du virus et au déclenchement des épizooties, il semblerait qu'une densité minimale non chiffrée précisément, soit nécessaire pour que l'épizootie se déclare. Cela va dans le sens d'une transmission par l'écureuil gris puis d'un entretien de l'épizootie parmi les écureuils roux (Sainsbury *et al.*, 2008 ; Carroll *et al.*, 2009 ; Chantrey *et al.*, 2014).

- Des nouveaux virus ?

Une étude a publié une découverte faite sur plusieurs écureuils roux juvéniles berlinois présentant macroscopiquement et histologiquement les mêmes lésions que le Squirrel Poxvirus. Cependant, le séquençage de ce virus ne permet pas de le relier au SQPV ; il s'agirait donc d'un nouveau genre de Poxvirus (Wibbelt *et al.*, 2017). En Espagne, on a identifié également un nouveau Poxvirus, encore une fois associées à des lésions macroscopiques et histologiques similaires à celles induites par le Squirrel Poxvirus. L'analyse au microscope électronique à transmission a cependant montré une correspondance plus importante avec un Orthopoxvirus qu'avec le Squirrel Poxvirus. Les écureuils gris n'étant pas recensés en Espagne, il semblerait que ce soit également un nouveau virus (Obon *et al.*, 2011). Cela pose la question de nouvelles menaces sur les populations d'écureuils roux, lorsqu'on connaît les ravages que peut causer le Squirrel Poxvirus.

- Adénovirose

Plusieurs cas d'adénovirose (Tableau 4) ont été détectés chez l'écureuil roux, d'abord en Angleterre (Duff *et al.*, 2007), mais aussi en Ecosse (D. J. Everest *et al.*, 2010a), au nord de l'Irlande (D. J. Everest *et al.*, 2012a) ainsi qu'en Allemagne (Peters *et al.*, 2011). A l'autopsie, ces cas présentent des similitudes macroscopiques et histologiques : des signes d'entérite avec souvent un contenu diarrhéique, une entéropathie aiguë avec une hyperplasie des cryptes et une atrophie des villosités de l'intestin. On trouve aussi des corps d'inclusion dans les noyaux de certains entérocytes (D. J. Everest *et al.*, 2012a ; Duff *et al.*, 2007).

Il n'y a *a priori* pas de différence de prévalence entre les sexes, l'âge ou la masse corporelle. Cependant, le taux d'infectés semble plus important dans les populations d'animaux captifs, certainement à cause de leur plus grande proximité (Everest *et al.*, 2018). Les individus atteints sont souvent asymptomatiques mais le virus peut s'avérer mortel en cas de forte entérite pouvant entraîner des intussusceptions (V. R. Simpson *et al.*, 2013a).

Des études montrent que la détection virale par PCR à partir d'échantillons d'organes est plus sensible que par examen au microscope à transmission électronique du contenu intestinal (D.J. Everest *et al.*, 2010b ; Everest *et al.*, 2018). Les deux méthodes combinées aux observations macroscopiques et histologiques permettent une bonne détection (D. J. Everest *et al.*, 2012b ; Everest *et al.*, 2018). En effet, la dégradation *post mortem* des tissus compliquant la détection à l'autopsie, ces deux méthodes s'avèrent très utiles pour détecter le virus sur des cadavres autolysés (D. J. Everest *et al.*, 2012b). De plus, on a montré qu'elles permettaient également de détecter le virus chez des animaux subcliniques (D. J. Everest *et al.*, 2012b).

Des études génétiques visant à identifier ce virus ont montré qu'il appartenait aux *Mastadenovirus*, mais n'a pas pu être réellement identifié (Martínez-Jiménez *et al.*, 2011 ;

Abendroth *et al.*, 2017). Il semblerait que ce soit un nouveau virus. Celui-ci a été séquencé entièrement et dénommé Squirrel *Adenovirus*-1 (Abendroth *et al.*, 2017). Le virus semble majoritairement être retrouvé dans les intestins, les reins, les poumons (Wernike *et al.*, 2018) mais aussi la rate (Everest *et al.*, 2018).

La source de l'infection n'est pas claire. En effet, les écureuils gris semblent également infectés, ce qui suggère une transmission entre les deux espèces. De plus des études montrent 100 % de concordance entre les virus retrouvés chez ces deux espèces de Sciuridés (D. J. Everest *et al.*, 2012b ; Wernike *et al.*, 2018). Cependant, l'hypothèse d'une transmission du virus de l'écureuil gris à l'écureuil roux n'explique pas les cas retrouvés en Allemagne où l'écureuil gris n'est pas présent (Peters *et al.*, 2011 ; Abendroth *et al.*, 2017). D'autres rongeurs sont également porteurs de ce virus ; des études plus approfondies permettraient de déterminer s'il y a un lien avec l'infection des écureuils roux (Everest *et al.*, 2018). On suppose cependant que certains programmes de renforcement (introductions d'individus pour renforcer la population présente) ont pu amener le virus au sein de la population sauvage en place (D. J. Everest *et al.*, 2012b).

□ Rotavirose

Parmi les virus identifiés chez *Sciurus vulgaris*, figurent les *Rotavirus*. Un cas a été décrit en Angleterre, dont l'animal présentait des lésions pouvant faire penser à une lésion causée par le Squirrel *Poxvirus*, mais s'est révélé négatif à celui-ci. Des lésions localisées au niveau des villosités des cellules épithéliales de l'intestin et associées à des signes digestifs (diarrhée, contenu liquide et jaune dans l'intestin) ont orienté les recherches vers un *Rotavirus*. La microscopie électronique a permis de renforcer cette hypothèse (Everest *et al.*, 2011). Quelques années auparavant, deux cas présentant de la diarrhée et une intussusception intestinale ont été testés positifs par analyse PCR au *Rotavirus*. La souche n'a pas pu être identifiée (Everest *et al.*, 2009).

□ Paramyxovirose

Une étude a découvert par hasard un nouveau virus appartenant à la sous-famille des *Paramyxovirinae* chez un écureuil gris. L'analyse de la séquence génétique du virus codant une partie de l'ARN polymérase (appelé gène L) comparée à celle du virus trouvé chez un écureuil roux montre 67 % de correspondance entre ces deux séquences, ce qui suggère un *Paramyxovirus* distinct. Un virus découvert chez un autre écureuil roux a fourni une nouvelle séquence du gène L qui se révèle identique à 69 % avec celle du virus de l'écureuil gris et 63 % avec la séquence du virus du premier écureuil roux soit un troisième *Paramyxovirus* potentiel. Ces écureuils ont été prélevés en Angleterre ; aucun d'entre eux ne présentait de signe clinique ou de lésion histologique. Ces résultats montrent qu'il existe au moins trois virus différents appartenant à la sous-famille des *Paramyxovirinae* circulant dans ce pays. D'autres études sont nécessaires afin de retracer l'histoire évolutive de ces virus et de connaître leur implication dans le devenir des populations touchées (Brooks *et al.*, 2014).

Tableau 4 : Résumé des virus les plus couramment retrouvés chez l'écureuil roux d'Europe
⁽¹D. J. Everest *et al.*, 2010a ; ²D. J. Everest *et al.*, 2010b ; ³D. J. Everest *et al.*, 2012a ;
⁴D. J. Everest *et al.*, 2012b ; ⁵Duff *et al.*, 2007 ; ⁶Sainsbury *et al.*, 2008 ; ⁷McInnes *et al.*, 2009 ;
⁸Carroll *et al.*, 2009 ; ⁹Atkin *et al.*, 2010 ; ¹⁰LaRose *et al.*, 2010 ; ¹¹Peters *et al.*, 2011 ;
¹²Martínez-Jiménez *et al.*, 2011 ; ¹³Collins *et al.*, 2014 ; ¹⁴Chantrey *et al.*, 2014 ; ¹⁵Fiegna *et al.*,
2016 ; ¹⁶Wibbelt *et al.*, 2017 ; ¹⁷Abendroth *et al.*, 2017 ; ¹⁸Everest *et al.*, 2018 ; ¹⁹Wernike *et al.*,
2018)

Catégorie	Agent pathogène	Zoonose	Létalité	Transmission	Signes cliniques
Poxvirus ^{6,7,8,9,10,13,14,15,16}	Squirrel Poxvirus	Non	Oui, forte	Par l'écureuil gris asymptomatique puis par contact, transmission vectorielle par les puces possible	Dermatite érythémateuse érosive voire ulcéraire avec des croûtes hémorragiques
Adénovirus ^{1,2,3,4,5,11,12,17,18,19}	Squirrel Adenovirus-1	Non	Oui, possible	Par l'écureuil gris supposée, pas de preuve Par contact	Entérite avec diarrhée

- Infections d'origine bactérienne

- Dermatite exsudative fatale liée à *Staphylococcus aureus*

C'est une affection courante, bien qu'on ne puisse pas déterminer avec certitude si la cause primaire est bactérienne ou non.

Plusieurs cas de dermatite exsudative ont été rapportés sur les îles de Wight et de Jersey. Les signes cliniques ressemblent fortement à ceux d'une infection par le SQPV avec des croûtes nasales, labiales ainsi que sur les doigts, associés à des zones d'alopécie et ulcérées. A l'histologie, on retrouve bien une dermatite exsudative ulcéreuse et nécrotique mais également une hyperplasie épidermique et une hyperkératose absentes en cas de SQPV. A l'inverse, on ne retrouve pas la dégénérescence du cytoplasme des kératinocytes caractéristique de l'infection par le Poxvirus. En effet, ces animaux sont testés négatifs au SQPV. Aucune cause n'a pu être identifiée dans cette étude (Simpson *et al.*, 2010). La différence clinique entre les deux affections est difficile à établir ; seule l'histologie permet de les différencier sans avoir recours à la PCR (Tableau 5).

Une autre étude lui fait suite et s'intéresse aux infections bactériennes associées dans tous les cas de dermatite exsudative examinés. L'agent bactérien en cause est *Staphylococcus aureus* (Simpson *et al.*, 2010 ; V. R. Simpson *et al.*, 2013b). Cette bactérie porte à chaque fois un gène codant une toxine, le gène lukM. D'autres études sont nécessaires afin de déterminer si l'infection bactérienne est primaire ou secondaire et quelle est l'implication de la toxine dans la mortalité des animaux atteints (V. R. Simpson *et al.*, 2013b).

Tableau 5 : Différences entre la poxvirose de l'écureuil et la dermatite exsudative fatale liée au *Staphylococcus aureus* (McInnes et al., 2009 ; Carroll et al., 2009 ; Collins et al., 2014 ; Fiegna et al., 2016 ; Wibbelt et al., 2017)

	Signes cliniques et localisation		Signes histologiques
Poxvirose	Dermatite érythémateuse érosive voire ulcéralive avec présence de croûtes hémorragiques Surinfections bactériennes fréquentes	Lèvres, autour des yeux, oreilles, nez, doigts, queue, région génitale et péri-anale, zone thoracique ventrale	Dégénérescence des kératinocytes, inclusions intracytoplasmiques virales dans le derme
Dermatite exsudative	Dermatite exsudative alopecique voire ulcéralive, avec présence de croûtes	Nez, lèvres, doigts	Hyperplasie épidermique, hyperkératose

□ Infection par *Borrelia burgdorferi*

Borrelia burgdorferi sensu lato regroupe plusieurs bactéries, dont certaines sont responsables de cette maladie chez l'homme (Pisanu et al., 2014).

Deux études menées en Suisse et en France sur des écureuils roux ont montré sensiblement les mêmes résultats. En France, la prévalence de l'infection par *Borrelia burgdorferi* est de 27 % ; la zone méditerranéenne semble épargnée et les juvéniles sont très peu souvent infectés. Ces résultats sont cohérents avec l'infestation par *Ixodes ricinus* qui suit le même schéma. Il ne semble pas y avoir d'influence du sexe, de la saison, ni de la masse corporelle des individus sur la prévalence de l'infection (Pisanu et al., 2014).

Dans les deux études, les espèces de *Borrelia* les plus retrouvées chez les écureuils roux sont *Borrelia burgdorferi sensu stricto* et *Borrelia afzelii* (Humair et Gern, 1998 ; Pisanu et al., 2014). Les mêmes espèces sont retrouvées dans les tiques (Humair et Gern, 1998). Ces deux publications apportent des arguments pour considérer l'écureuil roux comme un réservoir de *Borrelia burgdorferi sensu lato* (Humair et Gern, 1998 ; Pisanu et al., 2014).

Plus probablement que l'écureuil roux, l'écureuil de Corée est en France le sciuridé qui représente le plus important réservoir pour la maladie de Lyme (Louarn et Quéré, 2011). En effet son comportement terrestre le place plus souvent au contact des tiques (Moutou, 2018). D'autres rongeurs comme le mulot sylvestre (*Apodemus sylvaticus*), le mulot à collier (*Apodemus flavicollis*) ou le campagnol roussâtre (*Myodes glareolus*) sont aussi impliqués (Louarn et Quéré, 2011) ainsi que certains oiseaux (Pisanu et al., 2014).

□ Infection par *Bordetella bronchiseptica*

Une étude visant à déterminer les causes de mortalité chez les écureuils roux a pu identifier *Bordetella bronchiseptica* chez un individu en détresse respiratoire. Les poumons étaient inflammés et fibrosés. La bactérie a été retrouvée dans les bronches et bronchioles (V. R. Simpson et al., 2013a).

Cette affection est souvent retrouvée dans les centres de réhabilitation sur des animaux présentant des signes respiratoires et une baisse d'état général. L'affection se développe souvent à la suite d'un stress. L'arrivée dans un centre de soins est donc un moment propice ; il faudra veiller à respecter une période de quarantaine. Le caractère zoonotique de cette affection ne semble pas très important : toutefois certains soigneurs ont pu développer des signes cliniques en manipulant des animaux infectés. Plusieurs ont été confirmés comme étant infectés par *Bordetella* (Casey et Goldthwait, 2010).

□ Infection par *Campylobacter*

Une étude effectuée sur deux ans en Italie a pu identifier *Campylobacter jejuni* à partir d'écouillons rectaux d'écureuils roux. Huit pour cent des individus étaient atteints et aucun ne présentait de diarrhée ou de signes d'altération de l'état général. Le sexe et l'âge ne semblent avoir aucune influence (Dipineto *et al.*, 2009). Cette bactérie pouvant infecter l'homme, d'autres études sont nécessaires pour se prononcer sur le rôle potentiel de l'écureuil roux dans la transmission de cette bactérie.

□ Infection par *Mycobacterium leprae* et *Mycobacterium lepromatosis*

Une étude relativement récente a montré l'existence d'une infection par ces deux bactéries chez des écureuils roux présents sur certaines îles d'Angleterre (Avanzi *et al.*, 2016). Certains individus présentaient des signes cliniques comme de l'alopecie et un gonflement du museau, des lèvres, des paupières, du pavillon de l'oreille et des extrémités des membres (Avanzi *et al.*, 2016). D'autres sont porteurs de ces agents pathogènes sans présenter de signes cliniques (Schilling *et al.*, 2019a). Une autre étude s'intéressant à cette affection sur plusieurs espèces dont *Sciurus vulgaris*, grâce à des cadavres issus de France, Suisse, Italie, Allemagne pour cette espèce, n'a pas détecté ces bactéries. Leur méthode de détection par analyse PCR et coloration de Ziehl-Neelsen des tissus semble suffisamment sensible. On peut penser que le nombre d'écureuils de l'échantillon n'était pas assez important pour repérer cette infection dont la prévalence est peut être très faible voire nulle hors d'Angleterre (Schilling *et al.*, 2019b).

La découverte de *Mycobacterium leprae* et *Mycobacterium lepromatosis* chez l'écureuil roux sur des îles britanniques a été inattendue (Avanzi *et al.*, 2016). La lèpre, causée par ces deux bacilles est une zoonose connue jusqu'au Moyen-Age en Angleterre. La souche *Mycobacterium leprae* correspond à celle ayant circulé à cette époque chez l'homme (Moutou, 2018). Bien qu'aucune preuve du rôle de réservoir de l'écureuil roux pour la lèpre n'ait été avancée, nous pouvons suggérer que les écureuils roux sur les îles britanniques ont été infectés par une souche humaine. Puisque cette souche est encore présente aujourd'hui, cela laisse penser que l'écureuil roux est bien réservoir pour ce bacille dans les îles britanniques (Moutou, 2018). Ceci a une grande importance pour les programmes de renforcement de la population en place ou le prélèvement de certains individus dans ces îles.

□ Infection par *Bartonella washoensis*

Bartonella regroupe des bactéries responsables d'infections chez l'homme notamment. Un cas d'endocardite sur une prothèse mitrale a été rapporté sur une femme en Allemagne. L'agent responsable a été identifié comme étant *Bartonella washoensis*. Un échantillon d'écureuils roux a été étudié en Allemagne : l'analyse des séquences génétiques obtenues à partir de rates a révélé 39 % d'infection par *Bartonella washoensis* et 100 % de concordance avec la bactérie détectée sur la patiente. L'écureuil roux représente donc un réservoir potentiel de cette affection. Cependant

d'autres espèces sont également connus pour être porteurs de cette bactérie (von Loewenich *et al.*, 2019). Lipatova *et al.* (2020) ont effectué une étude sur des cadavres d'écureuils roux retrouvés entre 2001 et 2016 en Lituanie. *Bartonella spp.* a été détectée chez 38 % des écureuils, 1 % de leurs tiques (*Ixodes ricinus*) et 55 % de leurs puces (*Ceratophyllus sciurinus*). La bactérie a été identifiée comme étant *Bartonella washensis*. Ceci renforce l'idée que l'écureuil roux puisse représenter un réservoir pour cette bactérie, dont le vecteur serait la puce *Ceratophyllus sciurinus* (Lipatova *et al.*, 2020).

Une autre étude a identifié *Bartonella* chez des écureuils roux en Angleterre ainsi que chez des écureuils gris en Angleterre et aux Etats-Unis d'Amérique. Une comparaison de séquences nucléotidiques permet d'affirmer que ce sont les mêmes souches chez les écureuils gris anglais et nord-américains, et que la souche des écureuils roux est à 91,5 % identique à celle des écureuils gris. Cependant une identification plus précise n'a pas été possible ; ce sont *a priori* deux nouvelles souches de *Bartonella*. La souche des écureuils gris semble être proche de *Bartonella vinsonii*, qui est retrouvée aux Etats-Unis d'Amérique (Bown *et al.*, 2002). Le vecteur de *Bartonella* est identifié comme étant la puce (Lipatova *et al.*, 2020), un tel déficit de diversité chez les bartonelles retrouvé ici n'est pas habituel et l'hypothèse des auteurs est qu'elle proviendrait d'un manque de diversité des puces elles-mêmes (Bown *et al.*, 2002). Ainsi, l'écureuil gris est capable de véhiculer ces bactéries depuis son site d'origine et de les maintenir dans le nouveau site. On ne peut cependant pas affirmer que l'écureuil gris est à l'origine de la transmission de bartonelles à l'écureuil roux, d'autres études sont nécessaires afin de mieux connaître les conséquences d'une infection à *Bartonella* sur l'écureuil roux (Bown *et al.*, 2002).

□ Infection par *Dermatophilus congolensis*

Récemment, des cas de maladie cutanée chez deux écureuils roux à Anglesey, au nord-ouest du Pays de Galles, ont été identifiés comme étant dues à une bactérie à Gram positif : *Dermatophilus congolensis*. Les signes cutanés sont des croûtes et des lésions nécrotiques au niveau de la face, des paupières et du front. Ces lésions sont également retrouvées en région périnéale et le long d'un membre pelvien. Ces signes macroscopiques associés à une analyse bactériologique et histologique ont permis de déterminer l'agent pathogène en cause (Holmes *et al.*, 2019).

• *Infections d'origine fongique*

□ Infection par *Candida albicans*

Un cas de candidose a été rapporté en 2007 en Ecosse. Les lésions histopathologiques étaient évocatrices de candidose avec une glossite proliférative et une œsophagite nécrosante, associées à des hyphes et pseudohyphes envahissantes. L'agent pathogène a été identifié par des techniques de microbiologie et de biologie moléculaire ; il s'agissait de *Candida albicans*. Aucun facteur prédisposant n'a été clairement identifié. Un stress ou une mauvaise condition corporelle sont les hypothèses pour expliquer le développement de cette maladie sur cet individu (Simpson *et al.*, 2009).

b. Autres affections

- *Maladie buccale et malocclusion*

Les cas de maladie buccale sont connus mais ne sont *a priori* pas choses communes en milieu sauvage. Une étude détermine une prévalence de 0,033 % après avoir examiné 91 cadavres d'écureuils roux en Angleterre. La plupart sont des malocclusions des incisives et une usure des dents jugales. Des abcès sont également signalés. L'origine de ces problèmes buccaux est dégénérative, traumatique ou nutritionnelle. Elle peut parfois être la cause de la mort lorsque cette malocclusion limite l'ingestion alimentaire (Sainsbury *et al.*, 2004).

- *Mélanome malin*

Un cas mélanome malin chez *Sciurus vulgaris orientis* a été décrit. L'analyse des masses retirées des paupières de l'animal ainsi que l'identification de métastases pulmonaires ont permis de poser le diagnostic (Fukui *et al.*, 2002).

- *Carences alimentaires*

Une étude a examiné deux populations britanniques d'écureuils roux, une dans le comté de Cumbria au nord-ouest de l'Angleterre en présence de l'écureuil gris et une sur l'île of Wight au sud de l'Angleterre en absence de l'écureuil gris. L'étude s'est focalisée sur les os du fémur, de l'humérus et du radius principalement. Les résultats montrent une différence significative entre les deux populations, avec une corticale plus fine et une densité osseuse plus faible dans la population de l'île of Wight. Ces signes seraient compatibles avec de l'ostéoporose dont l'origine la plus probable, selon les auteurs, serait une carence en protéines et en calcium. Cependant, le faible nombre d'individus utilisés dans l'étude et le manque de données de référence par rapport aux os des écureuils ne permettent pas de tirer des conclusions définitives (Garriga *et al.*, 2004).

Nous le verrons ensuite, les problèmes de carences alimentaires sont beaucoup plus fréquents en captivité qu'en milieu naturel.

B. Autres menaces

Après avoir abordé les maladies, nous allons aborder d'autres causes de mortalité. Nous commencerons par évaluer l'impact de la prédation, puis l'influence de l'homme sur cette espèce, et nous finirons par aborder la menace que représentent les espèces envahissantes.

a. Prédateurs

L'écureuil roux représente une proie pour plusieurs animaux sauvages ou domestiques. Dans les études traitant des causes de mortalité des écureuils roux, la prédation représente entre 7,1 et 9,2 % (V. R. Simpson *et al.*, 2013a ; Blackett *et al.*, 2018).

- *Prédateurs sauvages*

Les principaux prédateurs de *Sciurus vulgaris* en Europe sont la martre des pins (*Martes martes*), l'autour des palombes (*Acciter gentilis*), la buse variable (*Buteo buteo*) (Chapuis et Marmet, 2006 ; Chapuis *et al.*, 2012), certains hiboux et chouettes (Lurz *et al.*, 2005), le renard roux (*Vulpes vulpes*) et l'hermine (*Mustela erminea*) qui prélève surtout les petits au nid (Chapuis et Marmet, 2006).

Des études ont été menées afin de déterminer l'effet de la prédation sur une population d'écureuils roux et notamment le rôle de l'autour des palombes, considéré par les auteurs comme l'espèce prédatrice la plus importante dans chaque site investigué (Petty *et al.*, 2003 ; Selonen *et al.*, 2016 ; Turkia *et al.*, 2018). En Finlande, on a constaté une diminution significative des traces d'écureuils roux en hiver en présence de prédateurs (Selonen *et al.*, 2016). Au contraire, en Angleterre et en Ecosse, Petty *et al.* (2003) n'ont pas démontré d'effet négatif des prédateurs sur cette espèce. L'examen du régime alimentaire des autours locaux a montré que les écureuils roux ne représenteraient que 1,8 % des espèces chassées. Les calculs montrent que le pourcentage d'écureuils roux prélevés par ces rapaces serait inférieur à 4 %, et se concentrerait pendant la période de reproduction (Petty *et al.*, 2003).

Ces résultats contradictoires entre l'étude de Selonen *et al.* (2016) et celle de Petty *et al.* (2003) pourraient être expliqués par le fait que les deux études n'utilisent pas les mêmes méthodes mais aussi qu'elles ne soient pas effectuées dans les mêmes habitats. En effet, l'effet des prédateurs est influencé par leur densité mais aussi par d'autres facteurs tels que la qualité du biotope et la saison entre autres (Turkia *et al.*, 2018). Par exemple, une étude menée en Finlande a permis d'observer que les écureuils roux ne sont pas éliminés d'un habitat de qualité par leurs prédateurs. Les nids n'y sont pas moins utilisés en présence ou en absence d'autours. Le fait que ces nids soient inaccessibles aux prédateurs pourraient logiquement expliquer ce résultat ou en tout cas en être un facteur explicatif (Turkia *et al.*, 2018).

Il semblerait donc que les prédateurs sauvages ne soient pas une réelle menace à l'échelle de la population, leur action ne pouvant à elle-seule expliquer une réduction significative des effectifs de leurs proies (Chapuis *et al.*, 2012).

Les nids sont un moyen de se protéger des prédateurs. Par exemple, ils peuvent les construire sur un charme (*Carpinus betulus*) situé à côté d'un chêne (*Quercus spp.*). L'écorce du charme est lisse et ne permet pas à l'hermine, qui chasse les jeunes écureuils au nid, d'y grimper facilement. L'écureuil, par son agilité, peut utiliser le chêne afin d'atteindre une branche du charme sur lequel il pourra construire un nid à l'abri des prédateurs, qui ne peuvent pas emprunter le même chemin, du fait de leur masse plus importante et de leur manque d'agilité (Chapuis *et al.*, 2012). Une étude montre aussi que les écureuils roux sont capables de reconnaître les cris des prédateurs. Une fois ceux-ci détectés, ils augmentent leur vigilance en adoptant certains comportements comme le fait d'arrêter de manger et de mâcher, de se dresser sur leurs postérieurs, de tourner la tête, ce qui leur permet d'éviter les prédateurs. On note également un effet négatif de la prédation sur la prise de nourriture car l'augmentation de vigilance réduit la prospection des aliments et leur consommation (Randler, 2006).

- *Prédateurs domestiques*

Dans les travaux menés pour déterminer les causes de mortalité des écureuils roux, d'après les lésions retrouvées sur les écureuils et les témoignages rapportés, la part la plus importante de la prédation serait imputable aux prédateurs domestiques, à savoir le chat et le chien (*Canis lupus familiaris*) (V. R. Simpson *et al.*, 2013a ; Blackett *et al.*, 2018). Les chats semblent être les principaux responsables. Cette prédation n'est pas insignifiante pour les populations d'écureuils roux (Chapuis *et al.*, 2012). En effet, ces derniers sont souvent attirés par les suppléments alimentaires qu'ils peuvent trouver dans les jardins, et s'y retrouvent alors en contact avec les chats domestiques (Chapuis *et al.*, 2012 ; Blackett *et al.*, 2018).

b. Menaces d'origine anthropique

L'effet direct de l'homme serait responsable de 61 % de la mortalité de *Sciurus vulgaris* dans une étude réalisée en Angleterre (V. R. Simpson *et al.*, 2013a). La modification de l'habitat de cette espèce, d'origine anthropique, constitue une menace majeure.

- **Menaces liées à la proximité avec l'homme**

La proximité avec l'homme peut affecter significativement l'existence des écureuils roux. La prédation par les animaux domestiques déjà évoquée fait partie des 61 % des causes de mortalité attribuée à l'homme. Les chats constituent également un risque d'infection par *Toxoplasma gondii*, sur l'île de Wight notamment, qui est une maladie mortelle chez les Sciuridés. On peut également citer les accidents inhérents au trafic routier, les électrocutions, les empoisonnements aux rodenticides, les pièges (V. R. Simpson *et al.*, 2013a ; Blackett *et al.*, 2018). Le trafic routier est jugé responsable de 41,7 % (V. R. Simpson *et al.*, 2013a) à 65 % (Shuttleworth, 2001) de la mortalité des écureuils (LaRose *et al.*, 2010). Les mâles semblent plus concernés par cette cause de mortalité l'hiver que les femelles, et c'est à l'automne qu'on compte le plus d'accidents routiers (Shuttleworth, 2001). L'automne représente la période de dispersion mais aussi de mise en cache des graines, donc de passage au sol. Ces deux facteurs peuvent expliquer ce pic saisonnier.

- **Menaces liées à la modification de son habitat**

La modification de l'habitat de l'écureuil roux est également responsable de la mortalité importante associée au trafic routier, notamment par la construction de routes qui traversent les zones boisées. La mortalité par accidents de la route concerne presque exclusivement les adultes et les subadultes, et très peu les juvéniles non sevrés. Ces derniers restent en effet plus volontiers au nid ou à proximité immédiate (LaRose *et al.*, 2010).

- **La fragmentation de l'habitat**

Plusieurs études se sont intéressées aux effets de la modification de l'habitat des écureuils. En effet, historiquement celui-ci ressemblait davantage à une grande forêt continue. Petit à petit, les routes, les cultures, les villages sont venus la fragmenter en une mosaïque de zones boisées et déboisées au fur et à mesure de la progression de l'urbanisation (Trizio *et al.*, 2005). Quel est l'effet de cette fragmentation sur les populations d'écureuils ?

Des études génétiques effectuées en Italie ont montré une différenciation entre des populations séparées par des barrières physiques telles qu'une rivière ou une vallée déboisée (Trizio *et al.*, 2005). En Belgique on a montré que le taux de dispersion était plus important dans une forêt continue plutôt que fragmentée, où les écureuils avaient tendance à moins s'éloigner de leur lieu de naissance (Luc A. Wauters *et al.*, 1994). Le taux d'immigration s'y est également avéré plus faible dans les milieux fragmentés (Verbeylen *et al.*, 1998).

Cependant, Trizio *et al.* (2005) ont aussi montré qu'entre deux populations séparées par un habitat urbanisé et déboisé, il existe des haplotypes en commun, ce qui suggère des connexions possibles entre elles (Trizio *et al.*, 2005). Une étude effectuée en Finlande s'est intéressée à la dispersion des jeunes, dans un milieu rural d'une part et de l'autre dans un environnement urbain. Elle a montré que la distance de dispersion était bien plus élevée dans le milieu rural étudié (8-9 fois plus). Pour les auteurs, la décision de déplacement des jeunes dépend de la disponibilité des ressources et de la densité des individus. En zone urbaine, les ressources sont plus stables toute

l'année et il existe des possibilités de supplémentation alimentaire par l'homme. D'ailleurs les jeunes en milieu urbain avaient tendance à se déplacer vers les habitations. D'autre part, bien que les grandes parcelles non boisées soient le plus souvent contournées, les écureuils sont capables de les traverser lorsqu'aucun autre chemin ne permet de les éviter. La structure du paysage dans cette étude a donc un effet patent sur les déplacements puisque les écureuils doivent composer avec, mais a eu peu d'influence sur la distance de dispersion. Il n'y a donc pas d'effet significatif, d'après cette étude, de la structure de l'environnement sur le flux génétique et la dynamique de population (Hämäläinen *et al.*, 2019). Une autre étude en Belgique ne montre pas de différence en termes de nombre d'individus se dispersant ou de distance de dispersion entre les forêts continues *versus* fragmentées (Wauters *et al.*, 2010).

La fragmentation semble avoir un effet sur la dispersion des jeunes si les barrières s'avèrent infranchissables telles qu'une rivière ou une vallée entièrement urbanisée (Trizio *et al.*, 2005), ou si la qualité de l'habitat est trop dégradé suite à la destruction des écosystèmes. En effet, une étude effectuée dans le nord-est de la Chine a montré que les milieux les plus adaptés aux écureuils roux étaient les forêts matures auxquelles l'homme ne touche pas. Lorsque la forêt est exploitée, ce sont les coupes sélectives légères qui offrent les meilleures chances d'adaptation aux écureuils, car celles-ci perturbent moins certaines parcelles de forêt mature et conservent donc mieux les écosystèmes en place, par rapport à des coupes plus agressives ou les coupes à blanc (Longru *et al.*, 2010). Une autre étude, en Italie, montre que la présence des écureuils roux est favorisée dans les zones boisées les moins fragmentées (Rima *et al.*, 2010).

A l'inverse, la fragmentation n'aura pas d'effet sur la dispersion si les barrières en cause peuvent être traversées telles qu'un champ cultivé (Wauters *et al.*, 2010 ; Hämäläinen *et al.*, 2019). La dispersion aura tendance à être plus importante dans les grandes forêts en raison de la densité plus importante d'écureuils qui pousse les jeunes à partir, contrairement aux habitats fragmentés impactant négativement cette densité (L. A. Wauters *et al.*, 1994). Le taux de survie locale apparaît également plus élevé dans les habitats fragmentés, en accord avec la densité plus faible qui réduit la compétition intra-spécifique (L. A. Wauters *et al.*, 1994). En effet, le nombre de jeunes recrutés localement est similaire aux autres habitats mais le taux d'immigration est plus faible, ce qui implique une diminution de la densité petit à petit (Verbeylen *et al.*, 1998).

En outre on sait aussi que les écureuils sont plutôt bien adaptés à une vie en milieu urbain comme le suggère l'étude de Hämäläinen *et al.* (2019). Une autre étude menée sur une population d'écureuils roux dans un environnement semi-naturel bénéficiant d'une supplémentation de leur alimentation a montré une bonne adaptabilité à ce milieu. Ils sont capables de modifier leur activité et leur comportement rapidement pour s'adapter aux changements rapides qui se produisent en milieu urbain (Turner *et al.*, 2017).

On a aussi montré que les populations isolées, comme les populations insulaires, avaient tendance à être plus consanguines que les populations continentales. Une étude s'est intéressée aux populations insulaires, notamment sur l'île de Jersey, île anglo-normande. Sur cette île, on constate encore l'effet des introductions passées remontant à 1894. Le flux génétique persiste mais est ralenti, certainement en conséquence de la fragmentation de l'habitat et de la faible densité de la population, qui limitent toutes deux la dispersion des individus (S. Simpson *et al.*, 2013).

□ La modification des forêts

En dehors de la fragmentation de l'habitat, l'homme est aussi à l'origine de la mise en place de monocultures, qui comme on l'a vu offrent de moins bonne diversité et prédictibilité des ressources. De plus, on peut citer un exemple en Angleterre et en Ecosse où les écureuils roux sont plus adaptés à l'exploitation des pins de Norvège (*Pinus resinosa*). Ils savent donc mieux les décortiquer et leurs graines, plus grosses, restent plus longtemps sur les arbres que celles de l'épicéa de Sitka (*Picea sitchensis*). Ils permettent donc une meilleure prédictibilité de ressources. Cependant, l'épicéa de Sitka est présent maintenant sur une plus grande superficie que le pin de Norvège (Petty *et al.*, 2003) ce qui pourra avoir un effet négatif sur les populations qui n'y sont pas habituées.

□ La pollution

On peut également remarquer d'après une étude faite en Ouganda que les écureuils roux qui vivent au plus proche des grandes routes sont exposés aux microparticules générées par le trafic routier, ce qui pourrait avoir un effet sur leur santé ou celle de leurs prédateurs, sans que cela ne soit prouvé (Nyangababo, 2001).

c. Les espèces envahissantes

Nous allons commencer par voir quelles sont les espèces d'écureuils envahissantes en Europe et en France. Ensuite nous verrons les clés permettant de différencier l'écureuil roux d'autres espèces d'écureuils. Ceci a un intérêt notamment en centre de soins comme nous le verrons par la suite. Nous aborderons enfin deux espèces en particulier : l'écureuil de Pallas, présent en France, qui pourrait être une menace, mais qui occupe encore des surfaces restreintes dans l'hexagone, et l'écureuil gris, responsable du déclin de l'écureuil roux en Angleterre, qui se propage rapidement.

• *Les espèces d'écureuils envahissantes en Europe et en France*

En France, pour rappel, les espèces de Sciuridés autochtones sont *Sciurus vulgaris* et *Marmota marmota*, qui est présente dans les Alpes et les Pyrénées.

□ Les espèces envahissantes en France

A partir des années 1970 surtout, d'autres espèces ont été introduites en Europe dont en France (Chapuis et Marmet, 2006 ; Louarn et Quéré, 2011 ; Chapuis *et al.*, 2012) .

○ L'écureuil de Corée ou Tamia de Sibérie (*Tamias sibiricus*)

Originaire du nord et de l'est de l'Asie, il a été introduit en Allemagne, en Belgique, en Italie, en France, aux Pays-Bas et en Suisse. Ces introductions sont à la fois volontaires, lors de relâchés d'écureuils achetés comme animal de compagnie, ou pour l'ornement de parcs ou de sites d'attractions, et involontaire lorsque des animaux captifs s'échappent accidentellement.

○ L'écureuil à ventre rouge ou l'écureuil de Pallas (*Callosciurus erythraeus*)

Il est originaire de l'Asie de l'est et a été introduit aux Pays-Bas, en Belgique et en Italie. Il a également été introduit dans les Alpes-Maritimes entre les années 1970 et 1974. L'espèce s'est bien adaptée au climat méditerranéen. A l'époque, cette espèce n'était pas vendue dans les animaleries et a probablement été directement importée d'Asie par un particulier. Actuellement, en France il en existe deux populations, une localisée dans les Alpes-Maritimes, l'autre dans les Bouches-du-Rhône.

□ Les espèces envahissantes en Europe

D'autres espèces ne sont pas encore présentes en France mais sont des espèces envahissantes en Europe :

○ L'écureuil gris (*Sciurus carolinensis*)

C'est un écureuil originaire d'Amérique du Nord. Il a été introduit à plusieurs reprises en Europe : en 1876, en Angleterre où l'introduction a été volontaire pour l'ornement de parcs, en 1913 en Irlande, et en 1948 en Italie.

Cette espèce n'est pas encore présente en France mais au vu de la progression de son aire géographique, elle pourrait passer les Alpes depuis l'Italie d'ici 2039 à 2048 (cf. partie Espèces envahissantes : le cas de l'écureuil gris).

○ Le Tamia strié (*Tamias striatus*)

Il est originaire de l'Amérique du Nord et a été introduit en Allemagne. Cette population est certainement issue de relâchés de spécimens de compagnie. Cette espèce est interdite à la vente en France, mais elle est autorisée dans d'autres pays comme la Belgique ou l'Italie.

○ L'écureuil de Finlayson (*Callosciurus finlaysonii*)

Cet écureuil est originaire de Thaïlande et de Birmanie. Il a été introduit en 1981 dans un parc au nord-ouest de l'Italie où il s'est parfaitement adapté. Il demeure pour le moment toujours sur son lieu d'introduction.

○ L'écureuil de Barbarie (*Atlantoxerus getulus*)

Il est originaire d'Afrique du Nord et a été introduit par un couple en 1965 dans l'île espagnole de Fuerteventura, dans l'archipel des Canaries.

• *Différencier l'écureuil roux d'autres espèces d'écureuils*

Comme nous l'avons vu, deux autres espèces sont présentes en France à la suite d'introductions, l'écureuil de Corée et l'écureuil à ventre rouge. Nous allons aussi détailler les signes distinctifs de l'écureuil gris car celui-ci pourrait bien arriver en France un jour. De plus, son impact est tel dans les zones où il est déjà installé, qu'il est primordial de pouvoir le différencier de l'écureuil roux (Chapuis *et al.*, 2012).

Savoir les identifier permet également de réaliser des enquêtes de recensement des populations d'écureuils. Au 11 février 2020, une enquête a ainsi permis de recenser, en France métropolitaine, 14 244 écureuils roux, 370 tamias de Sibérie ou écureuil de Corée et 371 écureuils de Pallas (Chapuis *et al.*, 2012).

Les principaux éléments de diagnose de l'écureuil roux sont la présence de pinceaux de poils au-dessus des oreilles, très visibles en hiver, sa couleur rousse contrastant avec un ventre blanc (Figure 15). Il se distingue également par son agilité qui surpasse celle des trois autres écureuils, bien qu'ils soient tous arboricoles.

Figure 15 : Illustration de la présence des pinceaux de poils au-dessus des oreilles à gauche et de l'absence des pinceaux de poils au-dessus des oreilles à droite

©Xavier Locque



○ L'écureuil de Corée (*Tamias sibiricus*)

C'est le plus facile à différencier des autres écureuils. En effet, il est plus petit (100 g en moyenne) et son pelage rayé est très caractéristique. Il comprend cinq rayures brunes bien marquées (Figure 16). L'écureuil de Corée semi-arboricole, s'observe souvent au sol (Chapuis *et al.*, 2012 ; Moutou, 2018).

Figure 16 : Écureuil de Corée avec ses rayures caractéristiques ©C.Huchery (Chapuis *et al.*, 2012)



- L'écureuil à ventre rouge ou écureuil de Pallas (*Callosciurus erythraeus*)

Les deux populations d'écureuil à ventre rouge présentes en France (Alpes-Maritimes et Bouches-du-Rhône) diffèrent entre elles par la masse corporelle de l'adulte et la couleur. En effet, les individus des Bouches-du-Rhône sont plus lourds (300-450 g contre 200-300 g) et arborent une couleur du ventre jaune-orangé alors qu'elle est plutôt roux-acajou dans les Alpes-Maritimes (Figure 17). La couleur du dos et des flancs ne varie pas, brun-olive ou gris-agouti dans les deux populations. Leur masse corporelle est inférieure à égale à celle de l'écureuil roux mais l'écureuil à ventre rouge est plus massif avec un cou plus large.

Figure 17 : Écureuil de Pallas des Alpes maritimes ©F. Moutou (Chapuis et *al.*, 2012)



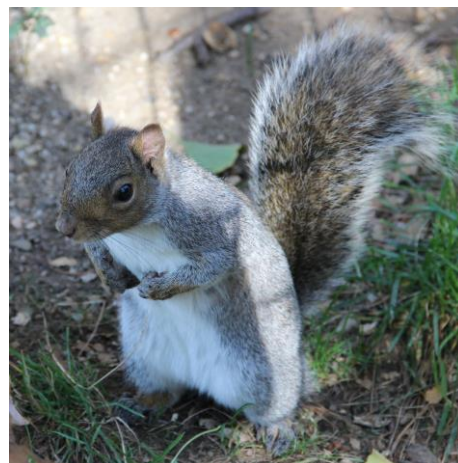
La longueur de la queue est sensiblement la même que chez l'écureuil roux. L'écureuil à ventre rouge se reconnaît facilement par la couleur de son corps et du ventre ainsi que par l'absence de pinceaux au-dessus des oreilles.

L'écureuil de Pallas a la particularité de vocaliser de façon très bruyante, surtout à l'aube et le soir. Les autres espèces décrites ont des cris plus sourds qui ne s'entendent que si on s'en approche (Chapuis et *al.*, 2012 ; Moutou, 2018).

- L'écureuil gris (*Sciurus carolinensis*)

Il est plus massif et plus lourd que l'écureuil roux. Sa queue est légèrement plus longue (15 à 25 cm). Comme l'écureuil à ventre rouge, il est dépourvu de poils au-dessus des oreilles. Les flancs et le dos sont gris agouti. Son ventre est blanc, sa queue est de couleur gris-noir, mélangée de brun (Figure 18). Il est plus souvent observé au sol que l'écureuil roux (Chapuis et *al.*, 2012).

Figure 18 : Écureuils gris photographiés à New York, à gauche illustration du pelage du dos et des flancs, à droite illustration du ventre blanc ©Sylvain Perrot



- *L'écureuil de Pallas comme menace pour l'écureuil roux*

L'écureuil de Pallas est présent en France dans les Alpes-Maritimes où il a été introduit à la fin des années 1960. Il est également signalé dans les Bouches-du-Rhône depuis 2000. On remarque que l'écureuil roux est de moins en moins observé là où vit l'écureuil de Pallas (Chapuis *et al.*, 2012).

Des études effectuées en Italie, où l'écureuil de Pallas est présent également, ont montré d'une part que la survie des adultes et la densité des populations d'écureuils roux étaient plus faibles en présence des écureuils de Pallas (Mazzamuto *et al.*, 2016) et d'autre part qu'il existerait une compétition inter-spécifique pour l'espace et les ressources (Mazzamuto *et al.*, 2017). En effet, la taille moyenne des domaines vitaux de *Sciurus vulgaris* augmente lorsqu'on retire les écureuils de Pallas de la zone. Le chevauchement intra-spécifique est également plus important dans les zones de présence de l'écureuil de Pallas indiquant une compétition pour l'espace disponible. Pour l'accès aux ressources, des signes indirects comme la mesure de tailles et de masses corporelles des écureuils roux moins élevées en présence de l'autre espèce sont révélateurs. De plus, ces deux espèces partagent des régimes alimentaires identiques (Mazzamuto *et al.*, 2017).

Donc l'écureuil de Pallas semble avoir un impact sur l'écureuil roux, et peut représenter une menace pour les populations françaises s'il se propage davantage.

- *L'écureuil gris comme menace pour l'écureuil roux*

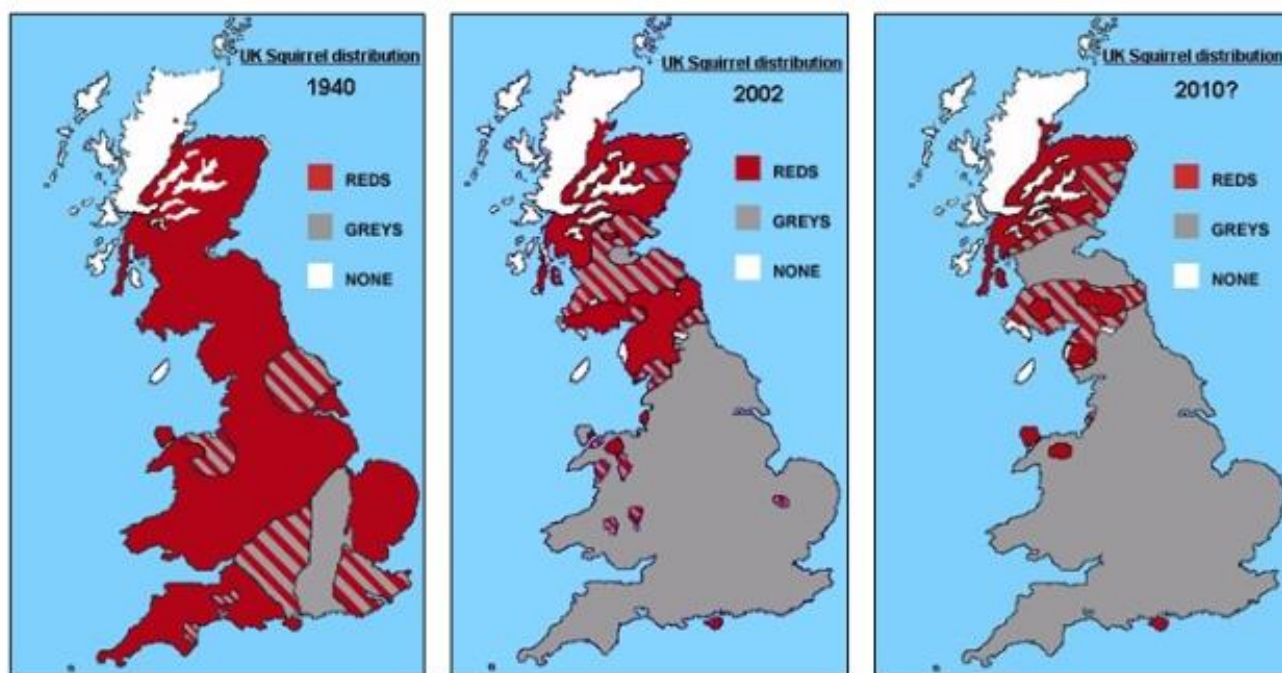
L'écureuil gris a été importé en Angleterre depuis les Etats-Unis d'Amérique en 1876 (Stokstad, 2016). Il a également été importé en Irlande en 1913 (Chapuis *et al.*, 2012).

Les premiers dommages attribués à l'écureuil gris, dès cette époque, correspondaient à l'arrachage de l'écorce des arbres (Stokstad, 2016 ; Shuttleworth *et al.*, 2019), les trous creusés dans les jardins et le pillage des nids d'oiseaux (Stokstad, 2016). En parallèle, on va rapidement observer le déclin des écureuils roux. Le lien entre extension de l'écureuil gris et diminution des populations d'écureuils roux va vite être établi (Figure 19) et plusieurs hypothèses émises à ce sujet (Stokstad, 2016). L'écureuil gris a également été introduit en 1948 dans le Piémont italien (Lurz *et al.*, 2001 ; Bertolino et Genovesi, 2003). Une étude a modélisé l'évolution probable des

écureuils gris en Italie et prévoit l'arrivée de cette espèce en France d'ici 2039 à 2048. Elle envisage également une extension en Suisse et en Europe centrale (Lurz *et al.*, 2001) Si l'espèce est *a priori* encore absente en France, quatre observations ont tout de même été rapportées dans le Var, le Doubs, l'Essonne et à Paris. Ces quatre animaux ont soit disparu soit été recapturés depuis (Chapuis *et al.*, 2012).

Son expansion en Italie a d'abord été lente les 40 premières années, à cause des obstacles naturels et de la présence de zones non boisées. Elle s'est ensuite accélérée les 20 années suivantes (Bertolino et Genovesi, 2003 ; Bertolino *et al.*, 2013). L'expansion a été plus lente qu'en Angleterre et en Irlande car le nombre d'écureuils importés étaient plus faible et les obstacles à franchir pour atteindre d'autres zones habitables étaient plus importants (Bertolino *et al.*, 2013). Un programme d'éradication de l'écureuil gris entrepris à Anglesey avait permis à la population des écureuils roux, soutenues par des campagnes de renforcement de leurs effectifs, de passer d'une quarantaine d'individus à plus de 700 (Stokstad, 2016). Des programmes d'éradication avait été envisagés en Italie mais n'ont pas abouti face à l'opposition des associations de défense des animaux (Lurz *et al.*, 2001). Devant une telle menace, il importe de trouver les solutions les plus éthiques possibles.

Figure 19 : Déclin de l'écureuil roux et expansion de l'écureuil gris au Royaume-Uni d'après Red Alert NW, 2003 (Chapuis *et al.*, 2012) (UK Squirrel distribution : Distribution des écureuils au Royaume Uni ; Reds = roux ; Greys = gris ; None = aucun)



□ Première hypothèse : la compétition inter-spécifique

Une étude effectuée en Italie du nord grâce à des échantillons fécaux a mis en évidence un taux de glucocorticoïdes trois fois plus élevé chez les écureuils roux en présence d'écureuils gris qu'en leur absence, et ce particulièrement en automne (Santicchia *et al.*, 2018). On note que ce taux augmente lorsqu'on introduit des écureuils gris dans le milieu et qu'il diminue lorsque ces derniers en sont retirés. Il existe donc bien une corrélation positive entre ce taux hormonal et la présence de l'écureuil gris (Santicchia *et al.*, 2018).

Une autre étude s'est intéressée aux conséquences d'un relâcher de 14 écureuils roux dans un milieu où étaient présents des écureuils gris. Plus de 50 % d'entre eux ont été victimes de prédation, les autres ont été retrouvés avec des glandes surrénales atrophiées, des signes de maladie et/ou avec une condition physique altérée (Kenward et Hodder, 1998). Aucun d'entre eux n'a survécu plus de quatre mois. Cela serait-il dû à une compétition entre les deux espèces ou au manque d'adaptabilité de l'écureuil roux pour un habitat qui ne lui est pas familier ? D'autres études sont nécessaires afin de trancher (Kenward et Hodder, 1998).

La présence de l'écureuil gris provoque donc un accroissement de la concentration d'une hormone de stress chez l'écureuil roux. A quoi cette augmentation est-elle due et quelles pourraient en être les conséquences pour les écureuils roux (Santicchia *et al.*, 2018) ?

○ Les arguments en faveur de cette hypothèse

Dans des forêts mixtes majoritairement recouverte de feuillus d'Italie septentrionale les écureuils gris ont été observés en train de dénicher des graines que les écureuils roux avaient cachées, ce qui montre qu'il existe un pillage de ces cachettes par cette espèce (Wauters *et al.*, 2002a). Une autre étude soulignait les effets négatifs de ce prélèvement sur la survie des écureuils roux (Wauters et Casale, 1996). Wauters *et al.* (2002b) ont mis en évidence que l'énergie apportée par les graines retrouvées était équivalente à l'énergie totale des graines cachées par l'écureuil ne cohabitant pas avec les écureuils gris, alors que cette énergie n'était que de 66 % dans le cas d'une cohabitation avec les écureuils gris. Cela indique qu'en présence d'écureuils gris, l'énergie apportée par la recherche de graines cachées est moins importante. Cependant les écureuils roux n'augmentent pas davantage le temps passé à cacher des graines ni le nombre de graines cachées en présence des gris, ce qui montre un manque d'adaptabilité de leur part à la cohabitation inter-spécifique. L'épuisement des ressources est inversement proportionnel à la taille du chevauchement du domaine vital par celui d'un écureuil gris, mais cette relation n'est vraie qu'au printemps. Ce constat n'est pas vérifié lorsque le chevauchement du domaine vital implique un autre écureuil roux, ce qui laisse à penser que la compétition intra-spécifique est moins importante pour les ressources que la compétition inter-spécifique (Wauters *et al.*, 2002a).

En ce qui concerne l'utilisation de l'habitat, une étude en forêt de feuillus mixte observe que les deux espèces passent le plus de temps au sol en automne-hiver pour cacher les graines. L'été, les écureuils des deux espèces doivent parcourir des distances plus longues afin de se nourrir et diversifier leur nourriture car les graines sont moins disponibles. La niche écologique des deux espèces s'étend donc. C'est au printemps que la niche se rétrécit pour les deux espèces. Elles exploitent toutes deux les chênes à cette période, les écureuils gris cependant davantage que les écureuils roux, ce qui réduit encore leur niche pour les premiers. C'est donc à cette période que la compétition est la plus rude. Concomitamment au fait qu'au printemps les caches s'épuisent, l'impact du pillage sera plus grand (Wauters *et al.*, 2005).

De plus, les écureuils roux semblent préférer l'utilisation de l'épicéa de Sitka en présence des écureuils gris. Ceci est certainement l'effet d'un évitement local de l'écureuil gris car les écureuils roux optent normalement pour le Pin sylvestre qui est plus intéressant en termes de ressources alimentaires (Wauters *et al.*, 2000). Il semblerait donc, qu'il soit possible que, dans certains sites, la présence de l'écureuil gris contraigne les écureuils roux à recourir à d'autres ressources ou gagner d'autres zones à habiter qu'en son absence.

De plus, lorsqu'on regarde les effets de la présence de l'écureuil gris sur l'écureuil roux, on trouve plusieurs résultats allant dans le sens d'une compétition bien réelle.

Premièrement, les écureuils roux cohabitant avec des écureuils gris ont une taille inférieure. De ce fait, la masse corporelle est également plus faible (Wauters *et al.*, 2001), mais leur condition physique reste bonne (Wauters *et al.*, 2000). Une étude montre aussi que leur masse corporelle est impactée au printemps (Wauters *et al.*, 2002a), en lien avec le pillage des cachettes qui s'épuisent à cette saison (Wauters *et al.*, 2005). La présence de l'écureuil gris aurait donc un effet sur la croissance de l'écureuil roux, mais aussi sur sa masse corporelle au printemps (Wauters *et al.*, 2005).

D'autres études ont pu montrer que le recrutement local des jeunes était moins important dans les lieux de cohabitation (Wauters *et al.*, 2000). Celui-ci diminue avec l'augmentation locale de la densité des écureuils gris (Gurnell *et al.*, 2004). Le succès de la reproduction en été des femelles semble plus faible quand l'autre espèce est présente (Gurnell *et al.*, 2004). Cette baisse de productivité estivale serait imputable à l'augmentation de la densité globale (cumulant écureuils roux et gris). Cette même étude observe également que la taille des domaines vitaux des écureuils roux diminue avec l'augmentation de la densité des écureuils gris dans cette étude. Donc la densité des écureuils gris pourrait avoir des effets sur la population des écureuils roux identiques à ceux qu'on observerait si c'était la densité des écureuils roux qui augmentait (Wauters et Gurnell, 1999). Ainsi, on peut dire qu'en présence des écureuils gris, le taux de recrutement local des jeunes écureuils roux est diminué et que le taux de reproduction est plus bas en été chez ces derniers.

La présence de l'écureuil gris impacterait sélectivement la croissance des juvéniles non sevrés et des subadultes, aboutissant à des écureuils roux plus petits, et limitant leur recrutement. Elle affecterait également les femelles réduisant leur succès de reproduction.

- Les arguments en défaveur de cette hypothèse

Une étude remarque que les écureuils roux cohabitant avec l'écureuil gris semblent plus sociables. Il y a également un chevauchement important des domaines vitaux inter-spécifiques suggérant que la situation serait mieux supportée par les individus les plus sociaux et que les autres partiraient (Wauters *et al.*, 2019).

Dans une autre étude faite dans le nord de l'Italie on cherche à savoir si la présence de l'écureuil gris va induire un changement dans l'activité, la prospection et la sélection de la nourriture chez l'écureuil roux. Le temps d'activité est moins important sur le site où les deux espèces co-existent (Wauters *et al.*, 2001). Cependant, leurs pics d'activité comportementale semblent coïncider aux mêmes moments de la journée (Wauters *et al.*, 2002b), n'évoquant pas une tentative d'évitement de l'écureuil roux par rapport à l'espèce envahissante. Aucun changement significatif n'est observé non plus dans cette étude en ce qui concerne la recherche de la nourriture et le choix des ressources dans des forêts de feuillus (Wauters *et al.*, 2001). On rappelle qu'une préférence pour l'épicéa de Sitka par rapport au pin sylvestre a été rapportée dans une étude, ce qui laisse

penser que bien qu'il n'y ait pas d'évitement évident de l'écureuil gris par l'écureuil roux, ce dernier soit tout de même parfois contraint de se rabattre sur d'autres zones moins intéressantes en la présence du premier.

Une étude dans une forêt de conifères au nord de l'Angleterre n'a pas montré de différence en ce qui concerne la survie locale des adultes que ce soit en présence ou en absence de l'écureuil gris. Les domaines se chevauchent davantage entre espèces distinctes qu'entre écureuils roux, ce qui suggère que la compétition intra-spécifique est plus forte pour l'établissement du domaine vital (Wauters *et al.*, 2000). On peut aussi noter qu'aucun comportement agressif inter-spécifique n'a été repéré dans une étude effectuée en forêt de feuillus en Italie. Il n'y avait également aucune modification de comportement des écureuils roux entre eux (Wauters *et al.*, 2005).

Tout cela ne va pas dans le sens d'une compétition inter-spécifique très importante entre les deux espèces et n'explique pas le taux de glucocorticoïdes plus élevé retrouvé chez les écureuils roux.

- En bilan

Comment expliquer la moins bonne croissance ? Elle pourrait être due au taux de glucocorticoïdes plus élevé mesuré en présence d'écureuils gris (Santicchia *et al.*, 2018). De plus, l'apport énergétique plus faible au printemps qu'on observe en présence des écureuils gris suite aux pillages notamment peut en être la cause. Les femelles ont également une masse corporelle plus faible et donc plus de mal à s'occuper correctement de leur progéniture (*cf.* partie Reproduction)

Comment expliquer la diminution du recrutement ? On sait que la compétition intra-spécifique est un facteur important de la dispersion des jeunes et qu'un subadulte va s'établir là où il le pourra dans un premier temps, en fonction de la densité et des ressources disponibles (*cf.* partie Reproduction). Donc la présence des écureuils gris peut accroître ce phénomène, même si c'est la compétition intra-spécifique qui entre en jeu majoritairement (Wauters *et al.*, 2000).

Comment expliquer la diminution du succès reproducteur ? Elle peut venir à la fois de la diminution de taille des individus, qui implique une masse corporelle plus faible et également d'un manque d'apport en énergie au printemps. Les femelles peinent alors à atteindre le poids minimal nécessaire pour entrer en œstrus et voit leur succès reproducteur réduit d'autant (Wauters *et al.*, 2005).

Ainsi, le manque d'adaptabilité des écureuils roux face à l'écureuil gris ne leur permet pas de contrer l'effet de ces mécanismes. Les deux espèces utiliseraient des niches écologiques très proches : on estime qu'elles seraient similaires à 70 % (leurs régimes alimentaires sont très voisins, et elles exploitent sensiblement les mêmes terrains) (Wauters *et al.*, 2002b). Les 30 % de différence peuvent être liés à des préférences alimentaires spécifiques (Wauters *et al.*, 2005). Plus la compétition est importante, moins nombreux sont les jeunes produits puis qui s'installent sur ces sites, conduisant au déclin de la population locale. De plus, contrairement à l'écureuil roux, l'écureuil gris continue de se reproduire en cas de forte densité, ce qui accentue encore la différence de dynamique de population entre les deux espèces (Chapuis *et al.*, 2012).

□ Deuxième hypothèse : La transmission de maladies et de parasites

Une autre hypothèse expliquant le déclin de l'écureuil roux est la transmission de maladies et de parasites de l'écureuil gris à l'écureuil roux. Plusieurs agents pathogènes se retrouvent à la fois chez l'une ou l'autre de ces deux espèces mais pour beaucoup de scientifiques il n'y a aucune preuve de la transmission directe entre eux. C'est notamment le cas de l'adénovirus : le gène codant l'ADN polymérase des virus retrouvés dans les deux espèces concordent à 100 % (D. J. Everest *et al.*, 2012b ; Wernike *et al.*, 2018) ; cependant ce virus existe aussi sur des sites où l'écureuil gris est absent (Peters *et al.*, 2011 ; Abendroth *et al.*, 2017). On retrouve également des infections par des *Paramyxovirus* (Brooks *et al.*, 2014) ou des bartonelles (Bown *et al.*, 2002) très proches sur le plan génétique chez les deux espèces (Brooks *et al.*, 2014) ; là encore aucun lien de transmission directe n'est établi. Il y a également une interrogation par rapport à l'infection par *Hepatozoon*, mais des études supplémentaires sont nécessaires (Simpson *et al.*, 2006).

○ Transmission de parasites

Une étude dans le nord de l'Italie s'est intéressée aux populations parasitaires externe et interne des écureuils gris. Les auteurs ont trouvé une faible diversité en parasites avec six espèces de nématodes identifiées, un cestode et quatre ectoparasites. D'autres parasites présents n'ont pu être identifiés. Les deux espèces les plus représentées étaient le nématode *Strongyloides robustus* et la puce *Ceratophyllus sciurorum*. *Trypanoxyuris sciuri* est présent sur très peu d'individus mais intéressant à considérer car c'est un parasite de l'écureuil roux, qu'on ne retrouve d'ailleurs uniquement que sur les sites où les deux espèces sont présentes. Ceci suggère que le parasite a besoin de l'écureuil roux pour persister (Romeo *et al.*, 2014).

Ceratophyllus sciurorum est retrouvée sur tous les sites de cette étude ; c'est une puce commune de l'écureuil roux mais qui semble pouvoir persister sur l'écureuil gris. Le degré d'infestation par cette puce est proportionnel à la densité d'individus et est plus important au printemps chez l'écureuil gris (Romeo *et al.*, 2014). Chez l'écureuil roux, l'infestation est plus forte en automne et en été (Romeo *et al.*, 2013). Il pourrait donc y avoir davantage d'infestation par les puces toute l'année quand elles peuvent passer d'une espèce à l'autre. Cela pourrait avoir des conséquences pour l'espèce avec une augmentation des fortes infestations, des maladies concomitantes par baisse de l'immunité et un accroissement des maladies vectorisées par la puce.

Strongyloides robustus est un parasite de l'écureuil gris, importé depuis les Etats-Unis d'Amérique. Sa présence augmente également avec la densité et la masse corporelle des individus. Ceci s'explique par l'augmentation de la surface corporelle des individus les plus lourds et de leur caractère dominant qui va les amener à explorer davantage leur environnement et donc à être plus exposés à des agents pathogènes (Romeo *et al.*, 2014). Ce parasite a déjà été retrouvé chez les écureuils roux en Italie comme en France (2 individus) (Romeo *et al.*, 2013) ainsi que chez la majorité des écureuils roux cohabitant avec des écureuils gris utilisés dans une étude en Italie septentrionale (Romeo *et al.*, 2015). La forte prévalence chez les écureuils roux combinée à l'excrétion d'œufs viables suggèrent que *Sciurus vulgaris* constitue un hôte compétent pour ce parasite. Ainsi, si l'écureuil gris est à l'origine de l'introduction du parasite, les écureuils roux peuvent se réinfester entre eux (Romeo *et al.*, 2015). D'ailleurs, on en retrouve dans des lieux vides d'écureuils gris (Romeo *et al.*, 2013 ; Romeo *et al.*, 2015).

On a pu observer que les écureuils roux étaient plus susceptibles d'être infestés par *Trypanoxyuris sciuri* dans les zones de cohabitation avec l'écureuil gris. Cette observation n'a pas

de réelle explication car la transmission nécessite des contacts rapprochés. Si ce n'est pas le fait d'une augmentation de l'exposition, cela peut s'expliquer par une réceptivité accrue. En effet, les écureuils roux en présence d'écureuils gris présentent un taux de glucocorticoïdes important ainsi une forte compétition interspécifique pour les ressources, ce qui peut engendrer une baisse d'immunité. Cela pourrait également être dû à une baisse d'immunité liée à des co-infections (Romeo *et al.*, 2015).

- Transmission virale : le Squirrel Poxvirus (SQPV)

En dehors de la transmission parasitaire, une maladie infectieuse a particulièrement fait parler d'elle et est incriminée dans le déclin des écureuils roux. C'est en 1930 que l'hypothèse selon laquelle le déclin de l'écureuil roux pourrait être attribué à une maladie, encore inconnue à l'époque, émerge (Stokstad, 2016).

Comme évoqué précédemment, l'écureuil gris est considéré comme le réservoir du Squirrel Poxvirus, provoquant des épizooties au sein de la population des écureuils roux en Europe à la suite de son introduction. Les écureuils gris sont le plus souvent asymptomatiques, même s'ils peuvent eux aussi manifester des signes cliniques (Atkin *et al.*, 2010).

Le Poxvirus chez les écureuils gris

La mesure quantitative du virus dans les lésions montre que des valeurs jusqu'à 10^4 fois plus élevées chez les écureuils roux avec lésions que chez les écureuils gris avec lésions. Chez les écureuils gris infectés naturellement (présentant des lésions cutanées typiques), la recherche du virus par qPCR peut s'avérer négative dans certains tissus contrairement à ce que l'on constate chez l'écureuil roux (Atkin *et al.*, 2010). Chez ce dernier, la présence du virus est particulièrement importante dans le sang, sur les lèvres, la peau du poitrail et dans ses puces. Comme les écureuils gris sont le plus souvent asymptomatiques, il faut prioriser la recherche du virus dans le sang et les puces (Atkin *et al.*, 2010).

Une étude effectuée au nord de l'Irlande sur les écureuils gris a montré que la séropositivité des individus était plus importante en hiver par rapport à l'été, où les contacts peuvent être plus importants. Elle montre également une corrélation positive entre les mâles de grande taille dotés de testicules plus volumineux et l'infection au SQPV. On sait que ces animaux ont plus tendance à dominer leurs congénères, à se déplacer davantage et donc multiplier les contacts. Les individus qui sont infestés par des nématodes ou des coccidies sont également plus infectés par le virus tout comme les jeunes et subordonnés présentant une splénomégalie. Ceci suggère que les maladies concomitantes et l'infestation par certains parasites, favorisent l'infection au SQPV, certainement en lien avec une baisse d'immunité. Chez les animaux subordonnés, le stress qu'engendre leur statut social pourrait provoquer une baisse d'immunité et donc favoriser l'infection par le virus. La taille augmentée de la rate correspondrait à une réponse à l'infection (McGowan *et al.*, 2014).

Les effets sur les populations d'écureuils roux

Une étude associant l'observation de populations d'écureuils et une modélisation de l'évolution de celles-ci, a montré que les effectifs d'écureuils roux déclinaient 17 à 25 fois plus rapidement en présence du Squirrel Poxvirus qu'en son absence. La maladie suit l'invasion des écureuils gris et plus les deux espèces cohabitent, plus la probabilité qu'une épizootie survienne est élevée (Rushton *et al.*, 2006). On remarque que les épizooties de poxvirose chez les écureuils roux se déclenchent là où l'on retrouve des écureuils gris séropositifs. Ceci va dans le sens de la

transmission du virus depuis le réservoir que représentent les écureuils gris (Sainsbury *et al.*, 2008 ; McInnes *et al.*, 2009).

Conduite à tenir face à une épizootie

Une étude propose quelques recommandations face à une épizootie chez les écureuils roux (Chantrey *et al.*, 2014) :

- contrôler les populations d'écureuils gris, en laissant des zones vides de cette espèce pour permettre aux écureuils roux de recoloniser le terrain ;
- détecter précocement la maladie, par des études sur les cadavres, par sérologie sur les vivants ;
- limiter la propagation : une question concerne l'abattage des écureuils roux infectés ? Une immunité et une guérison étant possibles, l'abattage peut être évitée si l'on peut limiter les contacts avec les congénères ;
- éviter toute pratique qui aura pour effet de favoriser les contacts entre les espèces et les individus d'une même espèce comme la distribution alimentaire. Une vigilance particulière doit concerner les regroupements d'animaux en captivité (Carroll *et al.*, 2009).

Lors d'une étude, les auteurs ont voulu alerter sur un point : les écureuils roux suspects d'être infectés étaient abattus dans le cadre d'un programme de conservation pour tenter de limiter l'épizootie. Cependant, beaucoup d'entre eux n'étaient en réalité pas positifs au virus (Collins *et al.*, 2014). Certaines mesures sont donc à reconsidérer, la détection d'un individu infecté sur la base de lésions macroscopiques ne semble pas efficace et la décision d'abattage semble trop précoce. La pression qui en découle peut s'avérer importante sur les populations concernées.

□ Troisième hypothèse : Une différence de métabolisme

Une autre hypothèse ou un autre facteur à l'origine de ce déclin pourrait être une différence de métabolisme au désavantage de l'écureuil roux.

Une étude effectuée sur plusieurs sites en Angleterre et dans différents habitats apporte des arguments suggérant que vivre en forêt de feuillus constitue un désavantage pour l'écureuil roux cohabitant avec l'écureuil gris. En effet, dans ces forêts, la densité du second s'avère deux à trois fois plus élevée que celle du premier. Les pics de densité sont reliés aux productions de noisettes d'une part et de glands d'autre part pour l'écureuil roux et l'écureuil gris respectivement (Kenward *et al.*, 1998). Dans la continuité de ces observations, le succès de reproduction des écureuils roux serait positivement corrélé à la production de noisettes et celui des écureuils gris à la disponibilité en glands dans les forêts caducifoliées (Kenward et Holm, 1993 ; Kenward *et al.*, 1998). En outre, on a montré que si le régime d'un écureuil roux ne se résume qu'aux glands, celui-ci présente de la diarrhée et son état peut se dégrader jusqu'à la mort. Il semblerait que celui-ci ne puisse pas digérer les glands et notamment les polyphénols, que l'écureuil gris, lui, digère très bien (Kenward et Holm, 1993). Ceci est un désavantage clair pour l'écureuil roux en forêt de feuillus comparé à l'écureuil gris. Les glands apportent également plus d'énergie et sont plus faciles à ouvrir que les noisettes.

En forêts de conifères, les densités des deux espèces sont reliées à l'abondance en cônes de pins, et dans une moindre mesure aux cônes d'épicéas. Il n'y a *a priori* pas d'avantage pour l'une

ou l'autre des deux espèces ; cependant, comme l'écureuil roux est plus léger que l'écureuil gris, le besoin en énergie plus réduit qui en découle lui confère un avantage pour lui dans ces biotopes (Kenward *et al.*, 1998).

La différence de métabolisme liée à la digestion des glands est donc un désavantage pour les écureuils roux dans les forêts de feuillus. Dans les forêts de conifères il ne semble pas y avoir d'impact lié au métabolisme, la compétition interspécifique cependant intervient comme nous l'avons déjà évoquée. En effet, en présence de l'écureuil gris, l'écureuil roux se reporte davantage sur des essences d'arbres moins intéressantes en termes de ressources alimentaires. (Wauters *et al.*, 2000).

4. Les problématiques de la conservation de l'écureuil roux et les solutions envisagées

A. Des solutions face aux menaces

Comprendre les mécanismes sous-jacents à ces menaces est important afin d'élaborer des solutions de nature à limiter le déclin des écureuils roux là où il a déjà commencé, et de le prévenir là où il est susceptible de se produire.

a. Comment limiter l'expansion des maladies létales ?

Afin de réduire l'impact de certaines maladies, on peut faire en sorte d'éviter les contacts rapprochés fortuits, par exemple en évitant de supplémenter en nourriture les populations d'écureuils. Dans le cas de la toxoplasmose sur l'île de Wight, il est judicieux d'éviter les contacts avec les chats ; pour cela on peut soit éviter de nourrir les écureuils pour ne pas les attirer, ou proposer de la nourriture à des endroits inaccessibles pour les chats (V. R. Simpson *et al.*, 2013a).

On envisagera plus spécifiquement le problème du Squirrel *Poxvirus* dans la partie traitant des menaces liées aux espèces envahissantes.

Une autre mesure utile est de prendre en compte les maladies dans les programmes de renforcement de la population, ou dans le cas de réhabilitation. Ceci sera également développé dans la suite.

b. Comment limiter la prédation par le chat ?

Comme dans le cadre de la toxoplasmose, éviter de nourrir les écureuils dans les jardins, afin de ne pas les attirer dans les lieux de fréquentation des chats domestiques ou rendre cette nourriture inaccessible aux félins permettra de réduire leur prédation. On peut aussi limiter les chances de succès du chat en lui accrochant une clochette qui préviendra les écureuils de leur présence ; il importe de choisir des colliers qui puissent s'ouvrir dans le cas où le chat s'accrocherait quelque part. Des dispositifs à placer dans les arbres permettent d'empêcher les félins d'y grimper. Moduler les sorties de ces derniers peut être une option pour les animaux qui tolèrent d'être enfermés. Il faut éviter de les laisser sortir au petit matin ou à la tombée de la nuit. Leur apporter assez de nourriture et jouer beaucoup avec eux permettra aussi de limiter le besoin de chasser. Enfin, stériliser son chat est une étape importante afin de limiter l'expansion de la population de ces félins (LPO France *et al.*, 2020).

c. Comment limiter les effets de la modification de son habitat

Nous avons vu que la fragmentation de l'habitat était un facteur de dégradation de la qualité des habitats des écureuils roux et que le trafic routier était une cause principale de mortalité. De plus, la fragmentation peut limiter la dispersion et les connexions entre populations au risque d'une baisse de la diversité génétique.

- *Favoriser la connexion entre les fragments d'habitat*

La mise en place de connexions permettant de relier des populations isolées peut restaurer rapidement la diversité génétique (Hale, 2001). Ceci est important pour la conservation de cette espèce car elle rend possible la dispersion des individus tout en évitant de traverser les routes.

Dans le même ordre d'idée, il convient dans la gestion des forêts de ne pas trop les clairsemer, en privilégiant une sylviculture irrégulière. Les écureuils doivent pouvoir passer d'un arbre à l'autre sans passer par le sol, en effectuant des sauts (Laguet, 2012).

- *La gestion des forêts*

La gestion forestière peut permettre d'offrir aux écureuils roux un habitat de qualité. Une étude a observé les préférences des écureuils roux dans une forêt de conifères. Les auteurs remarquent que ceux-ci évitent les arbres de moins de 25 ans car ne produisant pas encore de cônes. Ils évitent également les vieux pins sylvestres trop âgés pour en produire. Cette étude a estimé la qualité de l'habitat en prenant en compte ces critères incluant les essences des arbres. Les pins sylvestres par exemple produisent des cônes 10 à 15 ans avant les pins corses et procurent un bon couvert en termes de protection pour les écureuils. Mais une fois passé un certain âge, ces arbres ne produisent plus de cônes et donc sont abandonnés, ce qui réduit l'attractivité du lieu pour cette espèce. Une modélisation visant à remplacer les vieux pins sylvestres permet de montrer qu'une fois l'âge de production des nouvelles plantations atteint (environ 25 ans), la qualité de l'habitat s'améliore significativement. Inversement, si on modélise un remplacement des pins corses par des épicéas de Sitka, la qualité du biotope baisse. Ainsi, il semble intéressant de faire attention aux essences d'arbres utilisées dans les forêts, et de veiller à garder une qualité satisfaisante des forêts pour permettre aux écureuils roux de prospérer (Gurnell *et al.*, 2002).

La diversité des essences est importante à considérer. Les épicéas et les pins sont des arbres qui permettent de fournir une nourriture disponible toute l'année, et les sapins offrent une nourriture riche en énergie. Une étude menée au Haute-Savoie recommande de laisser au moins 5 % d'arbres de haute qualité en forêts mixtes (mélange de conifères et de feuillus) et au moins 10 % en forêts homogènes (uniquement composées de conifères ou de feuillus). Il faut privilégier les résineux (épicéas, pins, sapins) en priorité puis les hêtres, les charmes, les noisetiers et les châtaigniers qui semblent être les arbres à feuilles caduques préférés par les écureuils roux. Cette étude confirme aussi l'importance des arbres matures dans l'apport de ressources, qu'il importe de préserver (Laguet, 2012).

Une attention toute particulière doit être portée aux arbres porteurs de nids d'écureuils (Laguet, 2012).

Ceci permet à la fois de lutter contre la destruction des habitats de qualité par l'homme et de proposer à l'écureuil roux des lieux de qualité afin de limiter au maximum son déclin face à l'écureuil gris.

d. Comment lutter contre les effets liés aux espèces envahissantes

- **L'écureuil de Pallas**

L'écureuil de Pallas, considéré comme une menace pour l'écureuil roux, a été reconnu comme envahissant. En France, le Ministère de l'Écologie a mis en place un plan de lutte appliquée depuis 2012 dans les Alpes-Maritimes et depuis 2016 dans les Bouches-du-Rhône. Les mesures principales employées sont le piégeage et le tir, ce dernier n'étant utilisé que dans les zones non urbaines et par des professionnels. En ce qui concerne le piégeage, les pièges sont visités au moins quatre fois par jour et les espèces non-cibles sont relâchées. Les écureuils de Pallas piégés sont ensuite euthanasiés par choc crânien, acte réalisé par des professionnels (Chapuis *et al.*, 2012). L'aire de répartition encore restreinte de l'espèce permet d'envisager cette méthode comme efficace.

- **L'écureuil gris**

- Les programmes d'éradication

Comme déjà évoqué, des programmes d'éradication par piégeages des écureuils gris ont été mis en place en Angleterre où certains ont été concluants comme sur l'île d'Anglesey (Stokstad, 2016). En Italie, un programme d'éradication a débuté en 1997 afin de stopper le plus rapidement possible l'expansion des écureuils gris. Des contestations émanant des associations de protection animale ont conduit l'affaire en justice, provoquant la suspension du programme pendant trois ans. Les populations d'écureuils gris se sont alors étendues ; il est devenu dès-lors beaucoup plus compliqué de limiter leur expansion par des mesures létales. L'éradication rapide et complète appliquées à des populations encore peu nombreuses et localisées s'avère une solution efficace et plus appropriée qu'un contrôle permanent exercée sur l'espèce. En effet, cette dernière approche ne résout pas le problème sur le long terme et ne peut tout à fait contrôler l'expansion. Les conséquences en sont des coûts économiques importants et la nécessité d'un abattage à grande échelle par la suite (Bertolino et Genovesi, 2003).

- La gestion des forêts

Nous avons vu que les écureuils gris utilisaient beaucoup les chênes, mais que les écureuils roux n'étaient pas capables de digérer correctement les polyphénols des glands. Des auteurs proposent des pistes d'étude sur l'utilisation des chênes dans les forêts. Pourrait-on limiter la plantation de chênes dans les lieux de vie des écureuils roux, ou favoriser ceux qui produisent moins de graines ou moins de polyphénols ? L'objectif serait à la fois d'améliorer la qualité de l'habitat pour les écureuils roux en remplaçant les chênes par d'autres essences d'arbres utilisées par ceux-ci, et de réduire l'attractivité locale de l'habitat pour l'écureuil gris. Cette approche demande des études préalables avant d'être envisagées, notamment pour savoir si cela serait assez efficace pour les écureuils roux et si cela soulève d'autres problèmes d'impact pour les espèces autochtones exploitant les chênes (Kenward et Holm, 1993).

Une autre approche serait de favoriser les conifères, puisque ces essences conviennent mieux aux écureuils roux. Les forêts de conifères ne confèrent pas d'avantages aux écureuils gris contrairement aux forêts décidues. Des études ont porté sur les épicéas de Sitka car ceux-ci produisent des graines de petites tailles moins intéressantes pour les écureuils gris. Bien que les écureuils roux utilisent des sources de nourriture plus diversifiées que les gris, cette essence ne s'avère pas de très bonne qualité non plus pour l'écureuil autochtone. On recommande que 20 % de la forêt soit constituée par d'autres essences de meilleure qualité (Shuttleworth *et al.*, 2012).

Afin d'éviter que les forêts de conifères abritant les écureuils roux ne soient envahies par les écureuils gris, on peut aussi imaginer d'aménager une zone tampon autour de ces forêts. Elle serait constituée de conifères à faible productivité, qui n'attireraient donc pas les écureuils gris et éviteraient qu'ils ne rejoignent la population d'écureuils roux vivant au sein de la forêt (Kenward et Hodder, 1998).

□ Un prédateur de l'écureuil gris : une solution ?

En Angleterre la martre des pins qui avait presque disparu a fait son retour. Les forestiers remarquent que les écureuils gris diminuent en présence de ce mustélide. Ceci peut être dû au fait que les écureuils gris ne sont pas habitués à ce prédateur, sont plus souvent au sol et ont une taille plus imposante ce qui permet au prédateur de les repérer plus facilement. La martre représente donc un espoir de régulation de la population des écureuils gris, tandis que les écureuils roux sont moins susceptibles de se faire tuer par celle-ci. Cependant, sur le long terme, on peut penser que les écureuils gris vont petit à petit adopter des stratégies d'évitement, et que si leur population diminue réellement, les martres vont finir par aussi attraper des écureuils roux. Il est possible qu'un équilibre se forme grâce à ce prédateur, mais cela ne semble pas représenter une réelle solution sur le long terme face au déclin drastique de l'écureuil roux (Stokstad, 2016).

□ Supplémentation en nourriture

Une étude montre que la densité des écureuils roux augmente de façon très importante dans les lieux où une supplémentation alimentaire a été installée. Ceci pourrait permettre de les attirer dans des environnements favorables à leur survie (Starkey et delBarco-Trillo, 2019). Cependant, cette pratique est parfois déconseillée car elle favorise les rassemblements localisés et donc augmente la probabilité de transmission de maladies. Des études supplémentaires sont nécessaires afin de savoir si cette méthode peut avoir réellement un intérêt.

□ Immunité naturelle ou vaccin contre le SQPV

Cette maladie joue un rôle très important dans le déclin des écureuils roux. Comme nous l'avons vu, les épizooties sont déclenchées dans les lieux où les écureuils gris sont séropositifs et les écureuils roux en densité importante (Chantrey *et al.*, 2014). Ainsi, pour ralentir la progression du virus ou éviter le déclenchement d'épizooties, il faut agir à la fois sur la population des écureuils gris afin de limiter les contacts entre cette population et celle des écureuils roux, et d'autre part sur la population d'écureuils roux pour limiter leur densité et la probabilité de rencontre entre eux (Rushton *et al.*, 2006 ; Chantrey *et al.*, 2014). Pour cela, on peut jouer sur l'espace, afin de contenir les deux espèces dans des lieux séparés, par exemple grâce aux zones tampons évoquées plus haut. Il faut veiller à ce que l'espace soit suffisamment important pour chaque population afin de ne pas accroître la probabilité de rencontre. Eviter les zones de rassemblement semble également être une bonne idée, la supplémentation alimentaire étant ainsi non recommandée.

Cependant une étude questionne sur la stratégie inverse qui consisterait à provoquer les infections, et ainsi développer une immunité naturelle au sein des populations réceptives et sensibles. En effet, certains écureuils roux séropositifs ont été identifiés dans leur milieu naturel sans qu'ils ne présentent de signes cliniques, et avec des quantités de virus plus faibles que chez les individus malades (Sainsbury *et al.*, 2008). On sait également que certains individus peuvent survivre à cette maladie en captivité (Fiegna *et al.*, 2016). Ces deux informations combinées suggèrent que les écureuils roux sont capables de guérir et de développer une immunité face au virus en milieu naturel (Sainsbury *et al.*, 2008). Le fait qu'on retrouve souvent des restes alimentaires

dans l'estomac des individus infectés et que les cadavres retrouvés infectés ne soient pas tous décédés de la maladie vont également dans ce sens (Carroll *et al.*, 2009 ; Chantrey *et al.*, 2014 ; McGowan *et al.*, 2014). Favoriser les contacts entre écureuils roux pourrait promouvoir cette immunité naturelle. Le taux de mortalité très important qui pourrait être consécutif à cette stratégie, dans un premier temps au moins, pose la question de savoir si elle ne mènerait pas au déclin avant d'avoir atteint le niveau d'immunité souhaité. Des études sont nécessaires afin de trancher.

Un vaccin pourrait permettre d'immuniser une population d'écureuils roux face à cette maladie et ainsi ralentir son déclin (Sainsbury *et al.*, 2008). Cependant, actuellement aucun vaccin n'est en développement.

□ Des études visant à recourir à un contraceptif

Dans la recherche de solutions éthiques pour limiter l'expansion de l'écureuil gris, des chercheurs ont commencé à s'intéresser au DiazaCon® en tant que contraceptif. Le DiazaCon® inhibe la conversion de desmosterol en cholestérol, ce dernier étant nécessaire à la synthèse des hormones sexuelles. En baissant le taux de cholestérol on souhaite ainsi limiter la reproduction chez cette espèce (Yoder *et al.*, 2011). Deux études ont été menées en parallèle.

La première vise à évaluer sa faisabilité chez des écureuils captifs. Ils ont été pesés et répartis au hasard en trois groupes distincts : un groupe témoin, un groupe recevant 50 mg/kg de DiazaCon® et un dernier recevant 100 mg/kg de DiazaCon®. Ils ont ensuite été placés dans des cages. La dose leur a été donnée par gavage pendant deux jours, mais face au stress engendré par cette méthode, ils ont finalement reçu leur dose *via* l'alimentation, contenue dans des graines pendant huit jours. Trente-cinq jours de pause ont été instaurés entre les deux protocoles afin que la dose administrée par gavage soit totalement éliminée. Des échantillons sanguins ont été prélevés avant les protocoles, à J+5 et J+19 après la fin du premier protocole, puis J+5, J+11, J+18, J+25, J+42, J+62, J+83 et J+95 après la fin du deuxième protocole. Aucun effet sur la santé n'a été observé *de visu* ; les analyses sanguines, biochimiques et hématologiques n'ont pas montré de différences significatives entre les groupes d'individus traités ou témoins (Yoder *et al.*, 2011).

Dans la seconde étude, les écureuils capturés ont tout d'abord été placés durant 44 jours dans des cages sans manipulation pour permettre une certaine acclimatation. Ensuite, une semaine avant le début du protocole, les femelles ont été pesées, du sang leur a été prélevé, un frottis vaginal a été effectué et elles ont été réparties au hasard dans le groupe témoin ou dans le groupe recevant le traitement (66 mg/kg/j). Le traitement a duré dix jours, administré par l'intermédiaire de la nourriture. Puis de nouveaux échantillons sanguins ainsi qu'un frottis sanguin ont été réalisés une semaine après la fin du traitement. Par la suite les femelles ont toutes été placées dans des enclos avec des mâles actifs sexuellement. Là encore, aucun signe d'altération de la santé n'a été observé. Les résultats montrent qu'un traitement de dix jours à la posologie de 66 mg/kg/j est efficace pour faire baisser le taux de cholestérol de 40 % pendant quatre mois. Il semblerait que les individus traités n'ont pas participé à la saison de reproduction suivante ; les femelles traitées semblaient aussi moins attractives car moins pourchassées par les mâles. Le DiazaCon® serait donc efficace pour limiter la reproduction, mais il faut prendre aussi en compte certaines variations hormonales qui ont pu avoir lieu à cause de la captivité et de la mise en contact avec les mâles dans les enclos (Mayle *et al.*, 2013). D'autres études sont nécessaires notamment pour prendre en compte les risques liés à cette molécule pour les espèces non ciblées, et pour mettre au point une méthode

permettant de distribuer cette molécule à l'espèce cible en évitant le plus possible de toucher d'autres espèces (Yoder *et al.*, 2011).

□ Des mesures de prévention

Avant de pouvoir mettre en place des mesures comme une contraception ou un vaccin qui demande des recherches supplémentaires, il est primordial de présenter au grand public les effets que peuvent avoir les espèces envahissantes. En effet, faire connaître les impacts qu'elles peuvent exercer sur les espèces autochtones et leur environnement ne pourra que favoriser la recherche de solutions durables avec le soutien de l'opinion publique (Bertolino et Genovesi, 2003). De plus, par le biais d'actions de communication ciblées, on pourra éviter aussi certaines pratiques qui favorisent de telles situations.

Une autre mesure consiste à restreindre le commerce de certains animaux et d'interdire celui des espèces envahissantes (Bertolino *et al.*, 2013). Comme nous l'avons vu, certaines espèces comme l'écureuil de Corée ont été commercialisées comme animal de compagnie ; ne s'adaptant que très mal à la vie en captivité (Chapuis *et al.*, 2012), ces espèces finissent souvent par être relâchées dans la nature, pouvant provoquer le type de scénario que nous connaissons avec l'écureuil gris. Dans tous les cas, les écosystèmes se trouvent perturbés par l'arrivée d'une nouvelle espèce.

Sur le plan législatif, l'arrêté du 30 juillet 2010 « modifiant l'arrêté du 10 août 2004 fixant les conditions d'autorisation de détention d'animaux de certaines espèces non domestiques dans les établissements d'élevage, de vente, de location, de transit ou de présentation au public d'animaux d'espèces non domestiques et l'arrêté du 10 août 2004 fixant les règles générales de fonctionnement des installations d'élevage d'agrément d'animaux d'espèces non domestiques », interdit en France, la vente en animalerie de toute espèce de Sciuridés. Il était encore possible de détenir en captivité jusqu'à six individus d'écureuil de Corée ; c'est maintenant prohibé depuis 2016 par le Règlement d'exécution (UE) 2016/1141 de la commission du 13 juillet 2016 (Chapuis *et al.*, 2012).

Au niveau européen, les Règlements d'exécution (UE) 2016/1141 du 13 juillet 2016 et (UE) 2017/1263 du 12 juillet 2017 dressent la liste des espèces considérées comme préoccupantes. Les Etats doivent dorénavant prendre des mesures de prévention relatives à l'introduction et à la gestion des populations de ces espèces. L'écureuil de Pallas, l'écureuil gris, l'écureuil fauve et l'écureuil de Corée en font partie. En application de ces règlements, il est désormais interdit de les importer, de les détenir, d'en faire l'élevage, de les vendre (Chapuis *et al.*, 2012).

Si en France cette interdiction concerne toutes les espèces de Sciuridés, il en est autrement pour la Belgique où il est possible de trouver certaines espèces à la vente comme le *Tamias striatus*, qui ne figure pas dans la liste des espèces envahissantes dressée par la commission européenne. Un autre problème apparaît en France avec les ventes de ces animaux sur internet. De plus, certaines espèces étant très proches l'une de l'autre (comme le *Tamias striatus* et l'écureuil de Corée), il peut être difficile de les différencier créant ainsi les conditions d'un commerce illégal. La communication auprès du grand public est encore une fois fondamentale pour limiter ces importations. L'écureuil étant un animal très apprécié du public, il s'agit d'informer sur les conséquences potentielles que fait peser ce commerce sur la biodiversité mais aussi les risques sanitaires associés pour l'homme si l'on pense à la maladie de Lyme pour laquelle l'écureuil de Corée est un réservoir (Chapuis *et al.*, 2012).

B. Les difficultés de renforcer des populations déjà en place

a. La génétique à prendre en compte

Une étude réalisée sur l'île de Jersey a montré que l'effet des introductions datant de 1894 était encore visible. Le fait qu'on observe encore aujourd'hui des distinctions génétiques entre les différentes populations introduites est important pour la conservation. C'est également la structure de l'habitat dans lequel on introduit les individus qui importe, car dans le cas de l'île de Jersey, la fragmentation a pu freiner le brassage des populations (S. Simpson *et al.*, 2013).

Des travaux réalisés dans le sud de l'Angleterre ont permis de montrer que ces populations étaient distinctes de celles de l'Europe continentale, certainement en conséquence de leur isolement géographique. En vivant dans des lieux isolés, ces lignées uniques se sont adaptées localement, des allèles ont été sélectionnés au fil des croisements. Les auteurs pensent que ces gènes pourraient être un atout dans le renforcement de certaines populations. Introduire des individus porteurs de gènes codant par exemple un pelage plus fourni, pourrait permettre une meilleure réussite de cette introduction dans un milieu au climat froid (Hardouin *et al.*, 2019).

En se fondant sur ces deux études, on constate que les flux génétiques sont lents, et ce d'autant plus si l'environnement est fragmenté. De plus, la densité *de facto* faible des animaux introduits dans un nouvel environnement ne facilite pas un brassage élevé (S. Simpson *et al.*, 2013).

Hale et Lurz (2003) montrent que le renforcement des populations par des sous-espèces distinctes de celles présentes localement peut conduire à une perte de diversité. Par exemple, en Cumbria et au Nord de l'Ecosse, seuls lieux où *Sciurus vulgaris leucourus*, est présent, des croisements avec des individus de sous-espèces proches relâchés sur ces territoires ont conduit à la sélection d'allèles de gènes provoquant certaines modifications morphologiques (Hale et Lurz, 2003).

b. L'effet de l'écureuil roux sur le lieu de relâcher

Lors de relâcher de plusieurs animaux dans un lieu, il faut avoir en tête que cela peut avoir des conséquences sur les écosystèmes eux-mêmes. Les nouveaux individus peuvent perturber l'équilibre présent, d'une manière ou d'une autre. Le but est de faire en sorte que cet effet soit le moins délétère possible. Prenons l'exemple d'une cohabitation entre l'écureuil roux et le bec croisé (*Loxia curvirostra*) pour illustrer l'effet que peut avoir cette espèce sur son environnement.

Une étude en Italie montre que les becs croisés et les pins d'Alep (*Pinus halepensis*) co-évoluent ensemble selon un schéma de « course aux armements ». La taille des cônes et des écailles augmente pour empêcher les oiseaux de venir les manger. L'observation de ces paramètres suggère que cette évolution se manifeste là où les becs croisés sont présents quand l'écureuil roux est absent mais pas dans le cas contraire (Mezquida et Benkman, 2005). Une autre étude fait les mêmes constatations en région méditerranéenne française avec les pins noirs (*Pinus nigra*). Elle constate aussi que la densité de becs-croisés ont tendance à baisser en présence des écureuils roux. Ainsi les écureuils roux exercent une concurrence sur les becs-croisés qui affectent négativement les effectifs d'oiseaux tout en interférant dans la co-évolution entre becs-croisés et pins (Benkman et Parchman, 2009). Une troisième étude dans les Pyrénées montre également une baisse de densité de la population de ces fringillidés en présence des écureuils roux sans effet cependant sur leur co-évolution avec les pins sylvestres dans ce cas (Mezquida et Benkman, 2010).

Nous voyons à travers cet exemple que l'écureuil roux n'a pas un effet neutre sur l'environnement dans lequel il vit ; il importe donc de pouvoir prédire quels effets sa réintroduction dans son milieu naturel pourrait avoir sur l'habitat choisi.

L'écureuil roux est également en compétition alimentaire avec d'autres espèces comme la souris, le mulot, le campagnol roussâtre, le casse-noix moucheté (*Nucifraga caryocatactes*) et le pic épeiche (Le Barzic, 2013).

c. Prendre en compte les maladies

Un autre exemple de perturbation de l'habitat occasionné par les écureuils roux est l'introduction possible d'agents pathogènes. Une étude a exploré l'origine d'entéropathies survenues lors d'un programme de renforcement de la population à Anglesey. Les analyses ADN et par microscopie électronique à transmission ont pu mettre en évidence une infection par un adénovirus. Il semblerait que l'origine de l'infection soit imputable à des animaux captifs et relâchés dans le nouveau milieu. Ainsi, les auteurs insistent fortement sur la nécessité de connaître précisément le statut médical de tout candidat au relâcher, et ce d'autant plus lorsqu'il est possible d'avoir des animaux subcliniques porteurs de la maladie comme c'est le cas pour l'entéropathie associée aux adénovirus (D. J. Everest *et al.*, 2012b).

A l'inverse, il est important si on réintroduit des écureuils roux dans des lieux où l'écureuil gris est présent d'avoir une idée du statut de ces derniers par rapport au Squirrel Poxvirus (Carroll *et al.*, 2009). Ceci est crucial lorsqu'on connaît l'effet de cette maladie sur la population des écureuils roux. Un dépistage du virus dans le sang et les puces des écureuils roux augmente la probabilité de repérer les animaux atteints, même de façon asymptomatique (Atkin *et al.*, 2010).

Le but d'un relâcher n'est ni de nuire à l'environnement qui accueille les nouveaux individus, ni de nuire à ces derniers.

d. Prendre en compte l'habitat

Afin de maximiser les chances de réussite des individus relâchés dans leur nouvel habitat, il est important de prendre en compte certains paramètres pour que l'environnement soit optimal pour les individus relâchés.

De façon générale, les forêts de conifères offrent aux écureuils roux un habitat de bonne qualité, mais certaines préférences individuelles peuvent exister et nécessiter d'être prises en compte.

Une étude a observé le comportement et le devenir d'écureuils roux relâchés dans une forêt contenant des écureuils gris. Ceux qui avaient été piégés à proximité de pins corses ont naturellement recherché cette essence pour installer leur domaine vital. De la même manière, ceux piégés près de pins sylvestres ont recherché la présence de cet arbre, quitte à parcourir de longues distances. Cela montre l'importance de connaître, si possible, l'habitat d'origine des écureuils qu'on souhaite relâcher, afin de les emmener dans des habitats similaires afin de maximiser leurs probabilités de survie en leur proposant des éléments de biotopes qui leurs sont familiers. En effet, en tant que nouvel individu, l'écureuil relâché se trouve momentanément en position de faiblesse pour se procurer un domaine vital par rapport aux autres individus déjà installés et qui sont habitués à cet environnement. La découverte d'un lieu complètement nouveau en situation de compétition est une hypothèse qui expliquerait la mortalité très rapide que peuvent connaître tous les individus relâchés dans certaines études (Kenward et Hodder, 1998).

Deuxième partie : Gestion en centre de soins

Après avoir vu les aspects de la biologie de l'écureuil et les menaces qui pèsent sur cette espèce, nous allons aborder sa gestion en centre de soins. Savoir comment vit l'écureuil en milieu naturel est fondamental afin de lui proposer des conditions de prise en charge compatibles avec ses besoins biologiques propres et de le préparer au mieux à la remise en nature lors de la phase de réhabilitation. De plus, les menaces qui pèsent sur cette espèce sont préoccupantes et nous poussent à redoubler de vigilance afin de préserver au mieux l'écureuil roux et les écosystèmes dans lesquels il évolue.

En France, la plupart des rongeurs admis en centres de soins sont des écureuils roux (Doussain, 2018).

Nous aborderons les aspects réglementaires relatifs au statut de l'écureuil roux et aux centres de soins. Nous envisagerons ensuite, chronologiquement, les différentes étapes de son itinéraire technique depuis son admission en centre jusqu'à sa remise en liberté. On s'intéressera à la gestion des urgences et de la pathologie courante, à son environnement, et son alimentation en captivité transitoire, sa réhabilitation puis son relâcher.

1. Réglementation concernant l'écureuil roux

A. Le statut juridique de l'écureuil roux

L'écureuil roux a été pendant longtemps chassé pour sa fourrure et considéré comme nuisible (Chapuis *et al.*, 2012). Les dommages causés par l'écorçage, la consommation des bourgeons terminaux des conifères, et d'oisillons ou d'œufs lui ont valu ce statut (Lurz *et al.*, 2005 ; Chapuis *et al.*, 2012). Aujourd'hui il n'est plus chassé, mais les menaces qui pèsent sur cette espèce ont conduit à la réduction de ses effectifs. Actuellement en France, l'écureuil roux n'est pas menacé, mais les densités de ses populations sont faibles. L'écureuil gris n'est pas encore une menace sur le territoire français, c'est la fragmentation et la dégradation des biotopes de l'écureuil autochtone qui posent question actuellement. Ceci justifie son statut actuel en France où il est strictement protégé (Chapuis *et al.*, 2012).

Au niveau mondial, l'écureuil roux ne figure pas dans les annexes de la Convention de Washington du 3 mars 1973 portant sur le commerce international des espèces de la faune et de la flore sauvages menacées d'extinction (CITES). Au niveau mondial, comme au niveau national, il a le statut de « préoccupation mineure » d'après la liste rouge établie par l'UICN, sa population a tendance à diminuer (Shar *et al.*, 2016).

Au niveau européen l'espèce figure sur l'annexe 3 de la Convention de Berne du 19 septembre 1979. Cette convention promeut la coopération entre les Etats signataires dans la conservation et la protection des espèces sauvages de la flore et de la faune, ainsi que leurs habitats naturels. L'écureuil roux d'Europe est donc classé parmi les espèces protégées, et une

réglementation doit être mise en place pour maintenir cette espèce hors de danger d'extinction (Chapuis *et al.*, 2012).

En France, l'espèce est strictement protégée depuis 1976 par la loi n°76-629 du 10 juillet 1976. Les textes afférents figurent dans le Code de l'environnement dans les articles L. 411-1 et L. 411-2 ainsi que R. 411-1. Cette protection totale interdit de les blesser, de les tuer, de les commercialiser, de les transporter même morts, de les détenir en captivité ou de les naturaliser. Ce statut interdit aussi la détention d'un adulte ou d'un jeune tombé du nid : une fois les premiers soins (si nécessaires) procurés par un vétérinaire, il doit être transféré à un centre de soin habilité (Chapuis *et al.*, 2012).

B. La réglementation concernant les centres de soins accueillant des animaux sauvages

Le code de l'environnement encadre la détention d'animaux sauvages en captivité par les articles L.413-1 à L.413-5. Les objectifs en sont : la préservation de la biodiversité et le respect de l'équilibre des écosystèmes, la santé et la sécurité des personnes intervenant ainsi que leur compétence, et le bien-être des animaux dans des installations de qualité et conformes aux espèces accueillies. Ceci passe par l'obligation qu'il y ait au moins une personne capacitaire sur place, c'est-à-dire attestant de compétences reconnues, pour l'accueil et la prise en charge de toutes les espèces qui transitent par le lieu de détention (Doussain, 2018).

Ces lieux de détention d'animaux de la faune sauvage sont répartis en plusieurs catégories, les centres de soins en représentent une à part. Leur activité est réglementée par l'arrêté du 11 septembre 1992. La détention d'un animal dans ces établissements ne peut être que momentanée et de durée la plus courte possible. Seuls les animaux en cours de traitement ou en phase de réhabilitation sont autorisés à y être détenus. Si un animal n'est pas en mesure d'être réhabilité, il ne pourra rester au centre. Il sera soit euthanasié, soit transféré dans un autre lieu de détention de la faune sauvage (Doussain, 2018).

2. La prise en charge en centre de soins

En France, certains centres de soins sont habilités pour recevoir des écureuils roux (Figure 20). On peut trouver au moins deux centres de soins accueillants les écureuils roux par région, cependant certains endroits sont moins desservis (Normandie, Bretagne, Bourgogne Franche-Comté, Provence Alpes Côte d'Azur) et il est parfois nécessaire de se déplacer sur de longues distances afin de pouvoir amener un animal dans un tel centre.

Figure 20 : Répartition des centres de soins de faune sauvage en France pouvant accueillir des écureuils roux (en fonction du nombre de centres de soins présents par région) (Réseau centres de soins faune sauvage, 2020).



A. L'accueil de l'animal

a. La découverte d'un animal

La détention et la capture par un particulier d'un écureuil roux sont interdites. Cependant, l'instruction PN/S2 n°933 du 14 mai 1993 stipule que « en cas d'urgence et en l'absence de meilleure solution, le transport sans formalité est admis s'il est effectué dans les plus brefs délais et par l'itinéraire le plus direct » vers un centre de soins (Le Barzic, 2013).

La démarche, mue par une bonne intention dans la plupart des cas, de certaines personnes qui ramassent des animaux sauvages dans le but de leur venir en aide peut parfois s'avérer finalement plus délétère que salvatrice surtout pour la catégorie des juvéniles, notamment recueillis pendant la phase d'émancipation. Dans le cas d'un nid tombé au sol, par exemple, la mère va déplacer ses petits un par un pour les transporter jusqu'au nid de rechange. Ceux restant provisoirement en attente, semblant abandonnés, peuvent être pris à tort comme des jeunes en

détresse. Dans un tel cas, il faut mieux les laisser dans le nid et la mère viendra certainement les chercher d'ici une à deux heures (Vavasseur, 2020).

L'écureuil roux étant une espèce arboricole, un petit retrouvé au sol a pu chuter du nid (Le Barzic, 2013). Si son état est satisfaisant et qu'il paraît vigilant, il faut laisser une chance à la mère de le retrouver surtout s'il est « en attente d'un transport ». Il est alors conseillé de le replacer après cette rapide évaluation près du nid en surveillant à distance l'arrivée de prédateurs ou de la mère. Si on découvre des petits écureuils au crépuscule, il convient de les mettre provisoirement au chaud car la mère ne viendra pas les rechercher pendant la nuit. On pourra les replacer près du nid ou en sécurité en hauteur au lever du soleil car c'est à ce moment-là que la mère reprendra ses recherches. Si elle n'est pas venue dans les 2h, elle ne viendra probablement pas (Bergman-Althouse, 2011).

Certains indices peuvent motiver un transfert effectif vers un centre de soins. Que ce soit un jeune ou un adulte, si l'animal présente une blessure, s'il est « froid », ou si son état de vigilance est altéré, il devra être pris en charge (Le Barzic, 2013).

Dans tous les cas, il peut être utile d'appeler le centre de soins pour prendre conseil avant de procéder au transport. Le plus simple consiste alors le placer dans une boîte recouverte d'une serviette et au chaud. Il est totalement déconseillé de nourrir l'animal soi-même avant le transport, sous peine de provoquer une fausse déglutition. De plus, une manipulation inopportune pourrait aggraver ses lésions et lui-même pourrait blesser le découvreur.

Quelques précautions doivent être observées. L'écureuil roux est un rongeur qui peut infliger des morsures de défense. Il faut alors se protéger si possible au moyen de gants en cuir ou d'une serviette. Le transport se fera préférentiellement dans une boîte de transport pour petits animaux de compagnie (rongeur ou chat) ; il faudra éviter les boîtes en carton que l'écureuil pourrait alors ronger pour s'échapper. Il faut veiller à le maintenir au chaud (Le Barzic, 2013). Un écureuil ne doit jamais être saisi par la queue, laquelle est extrêmement fragile et s'avère essentielle à l'animal pour se déplacer, communiquer avec ses congénères ou réguler les échanges thermiques (S. J. Casey, 2011). En conséquence, un écureuil à la queue fracturée ne pourra pas être relâché (Le Barzic, 2013 ; Doussain, 2018).

Il est important d'informer le grand public sur toutes ces mesures car la découverte fortuite d'un écureuil en détresse peut concerner tout-un-chacun. Chacun doit être conscient du fait que la détention d'un animal sauvage chez soi est strictement interdite et met en jeu sa propre sécurité et celle de l'animal. Tout animal trouvé dans la nature ne nécessite pas nécessairement une prise en charge, certaines actions intempestives de l'homme pouvant alors s'avérer plus préjudiciables que ne rien faire. Contacter un centre de soins en cas de doute est le bon réflexe à avoir afin d'obtenir les conseils adaptés à la situation et à l'espèce et d'agir au mieux dans l'intérêt des deux parties.

Il est très probable qu'une personne qui découvre un écureuil roux qu'il juge en détresse contacte en premier lieu un vétérinaire. Il est donc important pour un vétérinaire de savoir répondre aux questionnements d'un découvreur de façon adaptée. Les vétérinaires sont tenus de prodiguer les premiers soins à un animal blessé ou en souffrance, ils doivent donc bien connaître les espèces qu'ils peuvent recevoir. Cependant, il n'est pas possible légalement de garder un animal sauvage hospitalisé dans une clinique ou dans un cabinet vétérinaire. Il faudra le transférer au plus vite vers un centre de soins habilité. Les centres de soins ne peuvent effectuer des actes vétérinaires, une coopération entre vétérinaires et le personnel des centres de soins est donc bienvenue.

b. L'arrivée au centre

- *Anamnèse*

A l'admission de tout animal, il est important de poser plusieurs questions au découvreur par rapport à la découverte afin de recueillir l'anamnèse (Le Barzic, 2013) :

- l'heure et le lieu précis de la découverte : cela sera important à prendre en compte car dans le cas où l'animal est un jeune écureuil qui va bien et a été prélevé dans la nature il y a moins de 24 heures, il sera possible de le replacer sur son lieu de découverte afin que sa mère le retrouve ;
- les conditions dans lesquelles l'animal a été trouvé : cela va nous orienter sur la nature des traumatismes que l'écureuil a pu subir, par exemple une chute d'un arbre, une morsure par un chat etc ;
- l'évolution éventuelle de l'état général, si un traitement ou des soins ont été apportés, le cas échéant par un vétérinaire ; il faut demander ce qui a été donné ou fait exactement, depuis combien de temps, et si de la nourriture a été donnée il faut en faire préciser la nature, la quantité, la fréquence. Ces informations sont très importantes pour la prise en charge. Dans le cas des écureuils roux, la plupart des animaux amenés en centre sont des juvéniles, et lorsqu'ils sont nourris par des personnes non expérimentées, le risque de bronchopneumonie par fausse déglutition est très élevé.

- *Examen clinique*

- Contention

Des précautions doivent être prises pour éviter les morsures toujours possibles. Il faut veiller à la sécurité du manipulateur et à ne pas stresser l'écureuil (Bergman-Althouse, 2011). L'utilisation d'une serviette permet une contention douce et fournit l'opportunité à l'écureuil de se cacher. Il est plus sûr de conduire l'examen dans une petite pièce fermée, au cas où l'écureuil s'échapperait (S. J. Casey, 2011). Certains adultes devront faire l'objet d'une sédation préalable afin de pouvoir être examiné sans stress et prévenir les risques de mauvaise manipulation (Miller, 2019). Les écureuils ne vomissant pas, on peut les anesthésier sans qu'ils soient à jeun (Blackett, 2017).

- Diagnose du sexe, de l'âge et de l'espèce

Pour les écureuils, il est important de différencier les espèces qu'on peut rencontrer en France pour savoir si on a bien à faire à un écureuil roux ou s'il s'agit d'une espèce allochtone (Le Barzic, 2013). Nous avons détaillé les éléments de diagnose morphologiques des différentes espèces dans la partie traitant des menaces que représentent les espèces envahissantes (*cf.* partie Le différencier des autres espèces envahissantes). C'est une étape importante car seul *Sciurus vulgaris* peut être relâché dans la nature. La marmotte est le seul autre sciuridé qui puisse être réhabilité en centre de soins (Chapuis *et al.*, 2012).

La diagnose de sexe est moins aisée sur les juvéniles, surtout avant sevrage. Chez un mâle, on pourra observer le pénis et le scrotum au milieu de l'abdomen. Chez une femelle, on localisera la vulve juste en avant de l'anus (Le Barzic, 2013) (Figure 21).

Figure 21 : Diagnose de sexe chez les juvéniles (mâle à gauche, femelle à droite) (Le Barzic, 2013)



Pour déterminer l'âge d'un jeune, on peut se baser sur les étapes de développement après la naissance, abordées dans la partie sur la reproduction (Figure 14) ou s'aider du poids (Tableau 6).

Tableau 6 : Diagnose d'âge des jeunes d'après les étapes de développement après la naissance et le poids (Lurz et al., 2005 ; S. J. Casey, 2011 ; Chapuis et al., 2012 ; Le Barzic, 2013)

Caractéristiques	Poids (approximatif)	Âge supposé
Nus, sans poils Pas de dents Yeux fermés	10-20 g	Moins de 8 jours
Début de la pousse des poils Déplacements par reptation	20-30 g	1-2 semaines
Incisives inférieures	30-50 g	15-20 jours
Ouverture des yeux Démarche assurée, position assise stable Incisives supérieures	55-100 g	30-40 jours

□ Évaluation de l'état de l'animal

L'examen clinique consiste à évaluer l'animal pour, dans un premier temps, savoir si un relâcher immédiat peut être effectué, ou si son état nécessite une prise en charge préalable.

On commence toujours par un examen à distance afin d'observer la position du corps et de la tête, à la recherche d'éventuelles anomalies neurologiques ou orthopédiques par exemple. La bonne connaissance des attitudes normales d'un écureuil s'avère utile dans cette première phase d'examen (Blackett, 2017). Dans certains cas, il peut être tout à fait pertinent de juger de la capacité de déplacement de l'animal placé dans un environnement confiné équipé de dispositifs *ad hoc*.

Si l'état de l'animal est trop dégradé, qu'il manifeste des signes de douleur majeure ou si la prise en charge implique un processus susceptible d'occasionner des douleurs importantes alors une euthanasie sera effectuée (Le Barzic, 2013). Elle s'effectue par l'administration d'un barbiturique (par exemple du pentobarbital de sodium) administré par voie intraveineuse ou par voie intracardiaque sur un animal comateux ou anesthésié au préalable par inhalation (par exemple de l'isoflurane). La voie intra péritonéale n'est pas recommandée car elle prolonge l'euthanasie et peut s'avérer douloureuse (Blackett, 2017).

Dans le cas où l'écureuil ne présente aucune anomalie et un état général satisfaisant, il peut être remis à l'endroit exact de sa découverte, si celui-ci s'avère satisfaisant pour l'espèce et que l'animal y a été trouvé depuis moins de 24 heures.

Un animal ne peut légalement être gardé dans un centre de soins que s'il peut y être traité ou réhabilité pour être ensuite relâché avec une bonne probabilité de survie. Par exemple, si une femelle présente une fracture du bassin déplacée, la remettre dans la nature lui fait courir un risque inacceptable de mort par dystocie, ce qui n'est pas éthiquement concevable. De même, si un individu souffrant d'une malocclusion nécessitera des soins sa vie durant (Le Barzic, 2013). Ces animaux qui peuvent être traités mais non relâchés à terme sont soit euthanasiés, soit placés dans d'autres centres d'accueil de la faune sauvage autorisés à garder ces animaux sur le long terme ou utilisés comme animaux pilotes facilitant la prise en charge de jeunes de la même espèce.

L'examen rapproché doit être rapide et le moins stressant possible. Il est réalisé comme sur un animal de compagnie. On commencera par la prise de température corporelle afin que sa valeur ne soit pas faussée par le stress de la manipulation. La température normale d'un écureuil roux se situe entre 36,7 et 38,9 °C. On effectuera ensuite l'examen de la tête à la queue. La fréquence cardiaque est comprise entre 300 et 400 battements par minute. Palper la vessie est important à réaliser. Sur un juvénile non sevré, une vessie pleine peut indiquer qu'il a besoin d'une stimulation pour uriner car il n'a pas encore l'âge de le faire seul. Si c'est un adulte cela peut indiquer une lésion spinale (Miller, 2019). La pesée initiale de l'animal est indispensable pour établir la posologie des traitements médicamenteux éventuels et déterminer les volumes de la fluidothérapie à administrer si nécessaire (Blackett, 2017).

□ Prise en charge d'urgence

On distingue cinq situations relevant d'une urgence : l'anoxie, l'hémorragie, l'hypothermie, la dénutrition sévère et le choc. La prise en charge dépend du cas de figure ; il faut veiller à ne pas réchauffer l'animal trop rapidement si on suspecte une hémorragie ou un état de choc, ce qui aggraverait la situation (Le Barzic, 2013). Il est important de stabiliser l'animal, et de le réchauffer avant de le nourrir.

Si un animal est présenté en détresse respiratoire, la première procédure à mettre en œuvre est de placer l'animal sous dioxygène. Puis il faudra envisager un remplissage vasculaire en tenant compte de la volémie, et un réchauffement progressif de la température corporelle en parallèle. L'animal doit être placé dans un endroit calme, à l'abri de *stimuli* extérieurs et d'une lumière trop vive (Miller, 2019).

L'anesthésie peut être nécessaire pour réaliser certains soins, notamment pour placer un cathéter et faire une prise de sang (veine jugulaire, veine cave crâniale, veine saphène, veine céphalique, veine fémorale). Dans ce cas, on veillera toujours à mettre l'animal sous dioxygène, limiter les déperditions de chaleur et procéder à une fluidothérapie. Un écureuil manifestant un état de vigilance réduit, sera anesthésié avec de l'isoflurane ou du sévoflurane. En cas d'impossibilité, une solution alternative consiste à injecter par voie intramusculaire (IM) un sédatif, le midazolam (1-2 mg/kg) suivi par l'administration IM de kétamine (5 mg/kg) associée à de la médétomidine (0,05-0,1 mg/kg) pour obtenir une anesthésie (Tableau 7). Les injections intramusculaires se font dans le quadriceps, on évitera d'administrer plus de 0,2 ml à la fois car l'injection peut être douloureuse. Il faudra faire attention aux effets de la kétamine si on utilise de l'atipamézole pour inverser les effets de la médétomidine, en ajoutant un analgésique pour réduire la douleur et permettre un meilleur réveil (Blackett, 2017).

Tableau 7 : Différentes molécules utilisables sur les écureuils, doses et fréquences extrapolées des études faites sur les rats de laboratoire (Blackett, 2017)

Effet	Molécule	Dose	Voie d'injection	Fréquence
Sédation	Midazolam	1-2 mg/kg	IM	
	Médétomidine	0,05-0,01 mg/kg (associée à la kétamine)	IM	
Anesthésie	Kétamine	5 mg/kg (associée à la médétomidine)	IM	
Analgesie	Buprénorphine	0,05 mg/kg	SC	Toutes les 8-12 h
	Morphine	2,5 mg/kg	IM	Toutes les 2-4 h
Analgesie/Sédation	Butorphanol	2 mg/kg	SC	Toutes les 4 h
Anti-inflammatoire	Meloxicam	1-2 mg/kg	SC, PO	Toutes les 2-4 h

Le remplissage vasculaire peut se faire par voies intraveineuse (par la veine fémorale le plus souvent, la veine céphalique et saphène peuvent aussi être utilisées) ou intraosseuse (tibia ou fémur) à l'aide d'un soluté isotonique (Le Barzic, 2013). On peut administrer des bolus de 15 ml/kg sur 10-15 min (Riley et Barron, 2016).

Il est commun de retrouver un écureuil déshydraté ; de nombreuses causes sont possibles : la séparation d'un jeune d'avec sa mère, de la diarrhée, une trop forte exposition à la chaleur, des plaies (Miller, 2019). Un animal sauvage recueilli sans signe de déshydratation est considéré par défaut comme étant déshydraté à au moins 5 %. La réhydratation peut se faire à l'aide d'un soluté isotonique (NaCl 0,9 % ou Ringer Lactate) combiné à un même volume de glucose 5 % par voie intraveineuse (Le Barzic, 2013). Le besoin d'entretien pour un petit mammifère sera plus élevé que pour un plus grand mammifère ; le rapport de la surface corporelle sur le poids est plus élevé, il y a donc plus de pertes. On peut admettre un besoin d'entretien se situant entre 60-90 ml/kg/j soit 2,5-4 ml/kg/h. Il faudra prendre en compte les pertes comme pour tout autre animal et notamment rajouter à ce besoin d'entretien le pourcentage de déshydratation. Une fois les pertes et le besoin pris en compte, le volume calculé sera à administrer sur une durée de six à huit heures pour une déshydratation aiguë, et 24 h pour un phénomène plus chronique (Riley et Barron, 2016).

L'utilisation de la voie intraveineuse peut s'avérer compliquée ; il est également possible de réaliser des injections de fluide en injection sous-cutanée. On utilise les mêmes fluides que pour la réhydratation intraveineuse, par injection de 20 ml/kg au maximum à la fois. On pourra effectuer cette injection au niveau du cou en partie dorsale, et au niveau des épaules.

Une réhydratation par voie orale peut s'effectuer si l'animal présente un état de vigilance correct avec du Pédialyte® ou du Ringer Lactate. Pour tout animal, on réalise une réhydratation initiale avant de passer à la nutrition.

Des produits de nutrition de convalescence peuvent être utilisés sur les adultes comme du Critical Care® (Oxbow Animal Health) ou de l'Emeraid omnivore® (Blackett, 2017). Il faut veiller absolument à observer une transition progressive vers une alimentation plus solide au risque que celle-ci soit mal digérée (Bergman-Althouse, 2011).

Pour les jeunes non sevrés, on peut ainsi respecter une transition sur 24h, pour passer d'une réhydratation par voie orale à l'administration d'un lactoremplacé (Cummins, 2004). On peut donner au jeune un ou deux repas uniquement avec un produit de réhydratation car il ne faut pas le nourrir tant qu'il est déshydraté. Puis on introduit progressivement la poudre de lait en quatre à six repas, en la diluant avec de l'eau et non avec le produit de réhydratation. On pourra donner par exemple sur quatre repas : 1/4 de la dose de poudre de lait d'un repas normal au premier repas, puis 2/4 au deuxième repas, 3/4 au troisième repas, puis la dose totale au quatrième repas (Casey et Goldthwait, 2011a).

En fonction des anomalies constatées lors de l'examen clinique, des radiographies ou un bilan sanguin peuvent s'avérer nécessaires. Les prises de sang se font uniquement sous anesthésie, au niveau des veines jugulaire ou saphène externe. Il faudra veiller à ne pas ponctionner un volume de sang excédant 0,8 à 1 % du poids vif (Blackett, 2017 ; Miller, 2019). En cas de traumatisme supposé ou réel, un examen clinique particulièrement minutieux sera indispensable pour déceler toutes les anomalies internes lesquelles peuvent être multiples (Casey et Goldthwait, 2013).

Les 24 premières heures, puis les six premiers jours qui suivent l'admission sont généralement les plus critiques pour savoir si l'animal va survivre ou non. En cas de morsure par un chat, le cap à passer se situe aux alentours du 11^{ème} jour (Vavasseur, 2020).

La prise en charge plus spécifique sera détaillée dans la partie consacrée à la pathologie (cf. partie Principales affections rencontrées en captivité).

B. Les soins

La plupart des écureuils recueillis en centre de soins sont des juvéniles : ils représentaient 98 % de l'effectif annuel total dans un centre de soins français spécialisé dans la prise en charge de cette espèce en 2019 (Le Refuge de l'Écureuil Roux) (Vavasseur, 2020), et en moyenne 90 % d'après des chiffres collectées aux Etats-Unis d'Amérique (A. M. Casey, 2011).

Les soins aux jeunes se distinguent par le fait qu'ils intègrent une phase préalable d'élevage avant le relâcher, puisqu'ils ne peuvent être remis directement dans le milieu naturel, surtout s'ils n'étaient pas sevrés à l'admission. En effet, le relâcher n'est envisageable qu'à condition que les jeunes soient suffisamment autonomes sur le plan alimentaire et moteur. La diagnose de l'âge à l'entrée sera alors essentielle pour les jeunes animaux car elle va déterminer la nature des soins et de l'alimentation à leur donner (Le Barzic, 2013).

Nous allons aborder les différents points importants à respecter dans les soins à apporter aux écureuils en centre de soins. Les particularités liées aux jeunes seront détaillées au fur et à mesure.

a. L'habitat et l'hygiène

Il est nécessaire que l'habitat des écureuils soit en adéquation avec les caractéristiques de leur espèce, conformément aux préconisations de l'arrêté du 11 septembre 1992. L'environnement qui leur est proposé doit aussi prendre en compte l'état de santé et les aptitudes individuelles. Les écureuils roux doivent être placés dans un endroit calme et facile à nettoyer. La température ambiante doit pouvoir être contrôlée. De plus, pour les jeunes chez qui la miction et la défécation ne sont pas encore spontanées, il sera essentiel de stimuler la zone ano-génitale après chaque repas (Le Barzic, 2013).

De façon générale, les écureuils étant des proies, il faut qu'ils disposent d'endroits où se dissimuler dans leur environnement de captivité. Ils bénéficieront d'autant mieux d'un endroit calme, limitant les sources de stress et inaccessible aux prédateurs potentiels que sont les chats (S. J. Casey, 2011). Cette espèce diurne a besoin de la lumière le jour et est inactive la nuit (A. M. Casey, 2011). Des barrières visuelles à l'instar d'une couverture disposée sur les côtés de la cage peuvent réduire les *stimuli* extérieurs et les stress associés (A. M. Casey, 2011 ; Blackett, 2017). Lorsque leur état leur permettra, il sera essentiel pour eux de pouvoir grimper, sauter, et exprimer le comportement arboricole qui leur est propre. Ils sont également très sensibles aux odeurs grâce à leur odorat très développé ; il faudra donc veiller à utiliser des produits peu ou non odorants pour le nettoyage de l'habitat et des couvertures (S. J. Casey, 2011).

Tout doit être mis en œuvre afin de minimiser les sources de stress, une étude montrant que des écureuils sauvages placés en captivité présentent un taux de glucocorticoïdes dans les fèces plus élevés qu'en milieu sauvage, avec un pic se manifestant à compter de 24-36h après la survenue de leur nouvelle condition (Dantzer *et al.*, 2016).

A chaque nouvelle arrivée, il sera nécessaire de procéder à une mise en quarantaine. Les animaux sont donc hébergés individuellement dans un premier temps sauf s'il s'agit d'une fratrie dans des cages qui sont de toutes façons systématiquement nettoyées et désinfectées après usage (A. M. Casey, 2011).

- *Les jeunes*

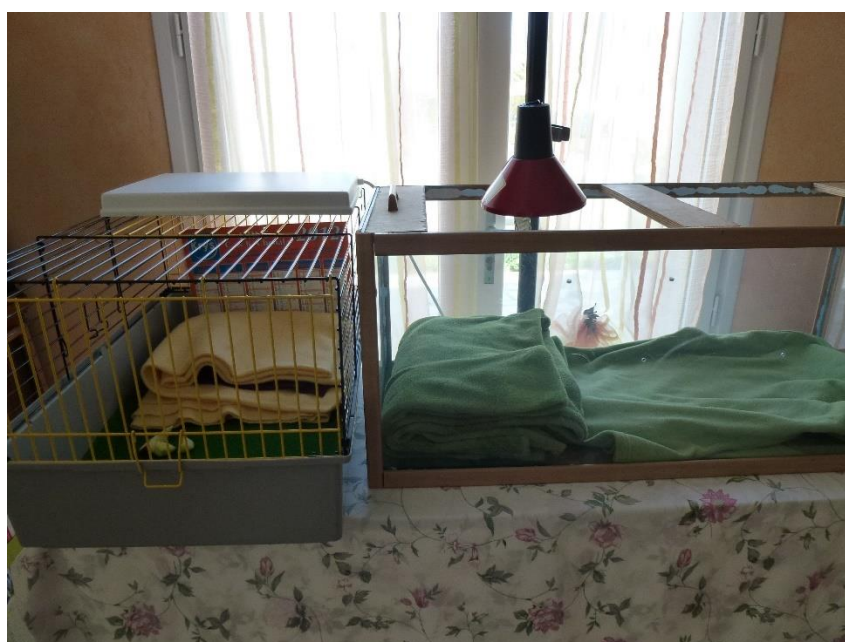
En règle générale pour les jeunes, les groupes sont constitués de petits issus de la même portée notamment en cas de dénichage volontaire ou involontaire. Des coupes de poils sur le dos pourront être effectuées afin de les différencier et de suivre leur évolution (Le Barzic, 2013). Pour les jeunes arrivés seuls, il peut être intéressant de regrouper des individus sains présentant des écarts d'âge de moins de dix jours. Les juvéniles non sevrés vivent en compagnie de leur fratrie jusqu'après leur sevrage. La mère abandonne ensuite le nid quelques mois à sa progéniture devenue autonome pour qu'ils disposent d'un abri facilement. Donc, relâcher plusieurs écureuils qui ont vécu au centre de soins ensemble peut être bénéfique pour leur survie (Vavasseur, 2020). Il sera alors essentiel de respecter 15 jours en isolement pour éviter la transmission de maladies ou de parasites entre eux (Le Barzic, 2013).

- Avant l'ouverture des yeux

- Habitat

L'habitat pour les jeunes de moins d'un mois, avant l'ouverture des yeux, est simplement constitué d'une boîte de transport pour petit rongeur ou d'une couveuse (Figure 22), afin d'avoir facilement accès à l'animal pour les soins (Le Barzic, 2013). En y disposant des couvertures pour qu'il puisse s'y dissimuler, cet environnement artificiel mime le nid de la portée. Il faut éviter de mettre des serviettes car les griffes des écureuils, quel que soit leur âge, pourraient se coincer dans les mailles et occasionner des blessures voire des fractures (S. J. Casey, 2011). La cage ne doit pas dépasser 40 cm de haut car à cet âge, ils ne peuvent pas encore grimper ou sauter. Ils ne cherchent pas non plus à ronger avant d'avoir les yeux ouverts (A. M. Casey, 2011). Une fois qu'ils les auront ouverts, il faudra veiller à bien sécuriser la cage car ils vont commencer à ronger le plastique ou d'autres matériaux (S. J. Casey, 2011).

Figure 22 : Couveuse et cage de petite taille adaptées pour les juvéniles non sevrés
©Béatrice Vavasseur



Les écureuils juvéniles non sevrés ont le besoin impératif d'être placés au chaud. La température doit être contrôlée. Pour un juvénile non sevré dépourvu de poils, l'environnement immédiat doit être maintenu à 30°C, puis lorsque les poils ont poussé 28°C suffisent. (Vavasseur, 2020). La couveuse est un bon système car elle permet un meilleur contrôle de la température, mais une boîte de transport pour petit mammifère ou une cage conviendra aussi. Il est important de créer un gradient de température dans l'habitat afin que le petit puisse se placer dans la zone thermique qui lui convient le mieux. Il faut également veiller à éviter tout risque de brûlure. Le plus simple pour les écureuils roux consiste à placer une bouillotte ou un disque chauffé à 37°C au départ en l'enroulant d'un linge ou d'un tissu propre permettant d'éviter les brûlures par contact direct (Le Barzic, 2013). On peut aussi placer la boîte sur un tapis chauffant réglé en position basse.

- Hygiène

Les juvéniles non sevrés n'urinent et ne défèquent pas spontanément. Il faut les stimuler après chaque repas à l'instar de ce que fait leur mère. Si un jeune arrête de manger au milieu du repas, il faudra le stimuler avant de reprendre. Le geste consiste à stimuler la zone périnéale à l'aide d'un coton ou un mouchoir chaud et humide. Il faut s'assurer que le juvénile urine et défèque régulièrement mais tenir aussi compte du fait que tous les individus ne manifestent pas le même rythme, pouvant aller de plusieurs fois par jour à une fois tous les deux jours. Au début il sera normal qu'il n'excrète rien s'il n'a pas été nourri pendant un certain temps et qu'il est déshydraté ; il pourra ainsi s'écouler plusieurs jours sans qu'il n'urine ou ne défèque (Bergman-Althouse, 2011). La stimulation devra être maintenue jusqu'à ce qu'ils fassent leurs besoins seuls, généralement vers 5-7 semaines à un poids de 120 g environ (Le Barzic, 2013). Mais cet âge est très variable ; il faudra donc s'adapter à chaque individu et continuer à les stimuler dans le doute.

- Après l'ouverture des yeux

- Habitat

A cet âge les écureuils commencent à ronger les matériaux et augmentent leur activité. Il faudra alors leur proposer une cage plus grande (Figure 23) afin qu'ils puissent s'y mouvoir comme ils le souhaitent, mais ne pas les mettre directement dans une grande cage de réhabilitation sous peine qu'ils ne s'y blessent (A. M. Casey, 2011).

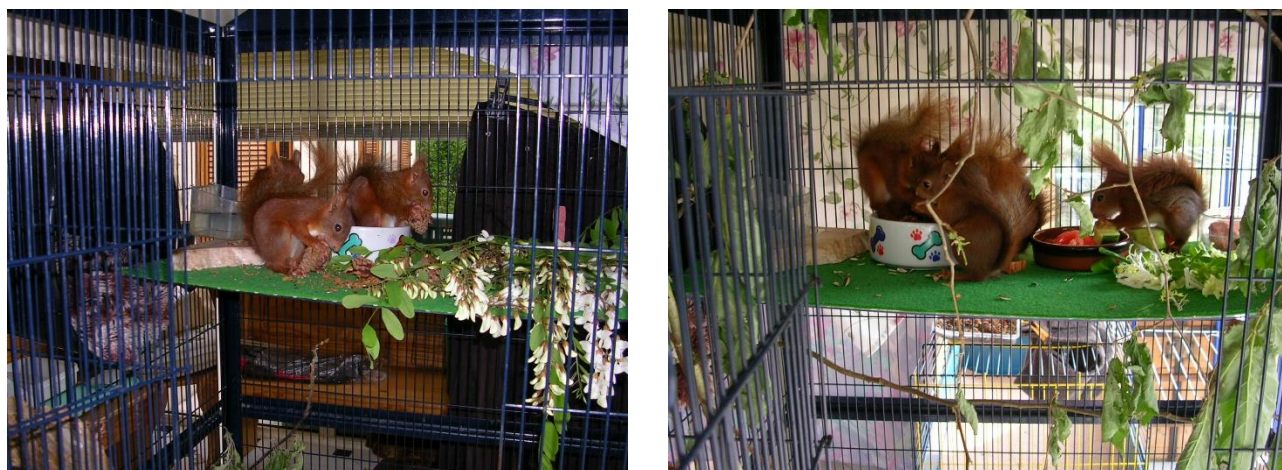
Plusieurs critères sont importants à prendre en compte pour les aménagements de cette cage. Elle doit être sécurisée, pour l'animal comme pour le manipulateur (A. M. Casey, 2011).

- Il faut vérifier qu'aucun endroit ne peut blesser l'animal ou le manipulateur comme des bords coupants, de fils qui dépassent.
- Il faut s'assurer que les mailles de la cage ne soient pas dangereuses pour l'écureuil. Il ne doit pas pouvoir se coincer les pattes ou la mâchoire à travers.
- Il faut proscrire tout matériau que l'écureuil pourrait ronger comme du bois pour construire la cage au risque d'une blessure ou d'une évasion.
- Il peut être intéressant d'avoir plusieurs portes pour manipuler l'écureuil plutôt qu'une seule grande ouverture, ce qui lui fournirait davantage d'occasions de s'échapper. Les portes doivent donc être de petite taille pour ne laisser passer qu'une main.

- Des mousquetons ou des accroches pour laisse pourront être mises sur les portes afin de les sécuriser car, les écureuils peuvent facilement ouvrir un verrou avec les dents.

Une telle cage (Annexe 1 pour les dimensions) pourra aussi être utilisée pour les adultes qui sont victimes de fractures ou de traumatisme crânien (A. M. Casey, 2011).

Figure 23 : Cage intermédiaire en intérieur, pour les jeunes en cours de sevrage et les adultes blessés ©Béatrice Vavasseur



Pour limiter le stress, on peut disposer la cage en hauteur, afin de ne pas aborder l'écureuil par le dessus, ce qui est perçu comme une attitude menaçante. Il faut limiter au maximum les manipulations et les « courses poursuites ». On peut déplacer l'animal au moyen de couvertures laissées dans sa cage ou en déplaçant une boîte interne qui sert de nid et qu'on peut fermer (Figure 24, Annexe 2). A ce stade, et dans les plus grandes cages, les écureuils ont besoin de pouvoir grimper car c'est un comportement normal pour l'espèce et qui, entre autres, leur permet d'échapper à leurs prédateurs. Pouvoir grimper permet de limiter leur stress et implique d'équiper la cage en conséquence à l'aide de branche d'arbre fruitier par exemple (A. M. Casey, 2011).

Le fond de la cage peut être tapissé de journaux recouverts de linges et couvertures. Il faut faire attention à ne pas mettre des tissus dans lesquels les griffes des écureuils pourraient se coincer comme les serviettes. Il sera plus judicieux d'utiliser des draps ou des t-shirts par exemple. Des soigneurs de centres de réhabilitation aux Etats-Unis d'Amérique recommandent d'utiliser du gazon artificiel. Cela permet un drainage des urines et d'éviter l'humidité contrairement aux linges (A. M. Casey, 2011).

Le nid est indispensable et doit correspondre à un endroit sec et propre où l'écureuil puisse se reposer. Si l'animal est très handicapé, il est conseillé de ne pas y mettre de boîte (Annexe 2, Figure 24) pour faciliter les manipulations et éviter qu'il ne se blesse davantage en l'utilisant. Une autre option peut donc consister à disposer simplement des couvertures propres. Utiliser des couvertures ou des linges de couleurs claires, que ce soit pour le nid ou pour le substrat permet de repérer plus facilement les parasites, les fèces anormales.

Les écureuils vont dès-lors commencer à boire de l'eau ; pour en assurer la mise à disposition on peut leur laisser un bol d'eau, ce qui s'apparente aux conditions qu'ils trouvent dans la nature. Il faudra cependant veiller à ce qu'il ne se renverse pas, sous peine de mouiller le substrat, d'accroître l'humidité de la cage et de les exposer aux déperditions thermiques. Il faudra aussi vérifier que l'eau

reste propre. Cette méthode n'est pas conseillée si on doit connaître précisément le volume d'eau effectivement ingéré par l'écureuil. L'eau peut également s'évaporer en cas de fortes chaleurs. On peut aussi utiliser un biberon, évitant ainsi les problèmes d'hygiène et les risques de renversement. Le bec doit être disposé à la bonne hauteur, soit au niveau de la tête lorsque l'écureuil est sur ses pattes arrière. Cette méthode nécessite qu'on repasse à la technique du bol peu avant le relâcher pour qu'il sache comment boire sans biberon (A. M. Casey, 2011). Il faudra toujours veiller à ce que l'écureuil sache s'abreuver au dispositif qu'on lui impose, sous peine de provoquer une déshydratation (Miller, 2019).

- Hygiène

Le nettoyage ne doit pas provoquer plus de stress que nécessaire. On ne nettoie pas une cage si elle est propre et qu'il n'y a pas d'odeur. Lorsqu'on procède au nettoyage, les parois peuvent être frottées à l'eau chaude puis désinfectées et séchées au soleil. Les journaux sont changés et les linges ou le gazon sont lavés.

Lors de problèmes gastro-intestinaux, il faudra impérativement laver plus souvent et chaque fois que cela s'avère nécessaire.

Comme pour les plus grandes cages, les produits chimiques sont à éviter pour traiter les branches. Les produits à forte odeur ne sont pas conseillés car ils peuvent augmenter le stress (A. M. Casey, 2011).

- *Les adultes*

- Juste après le sevrage

Après le sevrage des jeunes ou pour les adultes dès que leur état le permet, les écureuils sont placés dans des volières ou cage à barreaux en métal d'au moins 1 m de haut respectant le caractère arboricole de l'espèce (cf. partie Réhabilitation) (Figure 28). Transférer un jeune dans une grande cage trop tôt peut être dangereux pour lui car il pourrait être victime de traumatismes causés par une chute. Tout déplacement va nécessiter pour l'écureuil une période d'adaptation. Avant de les transférer, la cage intermédiaire pourra être placée quelques heures puis quelques jours à l'extérieur afin que l'écureuil s'habitue progressivement aux *stimuli* et conditions climatiques extérieures (A. M. Casey, 2011).

La température ambiante intérieure pourra être abaissée progressivement jusqu'à atteindre les températures extérieures, diurnes comme nocturnes. Le plus simple consiste à disposer d'une cage partagée comprenant une partie intérieure et une partie externe en libre accès (Le Barzic, 2013).

Il doit toujours y avoir un abri chaud et propre à sa disposition (A. M. Casey, 2011). Si plusieurs écureuils occupent la même cage, il est essentiel qu'il y ait assez d'espace pour que chacun puisse se réfugier dans un espace qui lui soit propre. Il faut donc prévoir au minimum un nid par individu (Blackett, 2017).

- Cas d'un adulte blessé

Un adulte qui présente une fracture ou un traumatisme crânien par exemple devra être placé dans une cage de taille intermédiaire, afin de pouvoir le soigner tout en limitant ses déplacements. De plus, une grande cage pourrait s'avérer dangereuse pour lui, comme pour un jeune inexpérimenté, avec des risques de chutes et de traumatismes additionnels (S. J. Casey, 2011). On pourra alors utiliser

les modèles de cages prévus pour les jeunes de plus d'un mois qui ont ouvert leurs yeux (Annexe 1, Figure 23) (A. M. Casey, 2011).

Tant que l'écureuil est dans un état critique, il n'est pas recommandé non plus d'utiliser une boîte « nid » (Figure 24, Annexe 2). Il pourrait en effet s'y cacher privant le soigneur de la possibilité de vérifier son état ou de lui prodiguer des soins en conséquence. En attendant, le nid peut être constitué de vieux t-shirts ou de couvertures, en évitant les serviettes (S. J. Casey, 2011).

□ Enrichissement et hygiène

Certains comportements de stéréotypies peuvent apparaître sur des animaux sauvages en captivité. Il faudra limiter le temps passé dans le centre de soins autant que possible, sans les relâcher trop tôt pour autant. On veillera, tout le temps de la captivité, à produire le moins de stress possible et à enrichir au mieux l'environnement prodigué (Blackett, 2017).

L'habitat pourra être enrichi au moyen de branches d'arbres fruitiers ou de conifères, pour qu'il puisse grimper et ronger. On pourra ajouter un hamac également (Le Barzic, 2013). Comme pour les plus petites cages, il faudra veiller à ce qu'elle soit protégée des prédateurs et faite de manière à ce que les écureuils ne puissent s'échapper (Bergman-Althouse, 2011). Un écureuil adulte pourra facilement faire sauter les verrous d'une cage avec les dents.

Une boîte peut être construite afin de mimer un nid (Annexe 2, Figure 24). On peut les concevoir astucieusement de sorte de pouvoir les fermer et les déplacer. Elles permettent ainsi un accès aisé et sans stress à l'animal. Elles permettent aussi de pouvoir déplacer en sécurité l'écureuil lors du nettoyage de la cage ou pour le transférer dans une cage plus grande. Il ne faut pas y appliquer de peinture ou de traitement fongicide par exemple, car les écureuils vont les ronger au risque alors de s'intoxiquer (Issacs, 2002).

Figure 24 : Boîtes construites pour constituer le nid artificiel de l'écureuil (voir Annexe 2 pour le plan de construction) ©Béatrice Vavasœur



Les fèces des adultes sont brunes à noires, en forme de granulés ronds, inodores. Lors du nettoyage, il faut proscrire l'utilisation de substances laissant une forte odeur, et prohiber les produits chimiques pour traiter les branches qui seront amenées à être rongées et potentiellement ingérées (S. J. Casey, 2011).

b. L'alimentation

L'alimentation est un aspect fondamental de la prise en charge des animaux. En effet, une alimentation déséquilibrée peut causer de graves problèmes de santé. Les protéines vont être très importantes tant sur les plans quantitatifs que qualitatifs pour la croissance et l'entretien de l'organisme. Les lipides représentent une source d'énergie nécessaire pour leur développement. Les minéraux doivent également être bien équilibrés. Le calcium et le phosphore tiennent une place importante dans l'alimentation des jeunes, il convient de bien respecter un équilibre entre ces minéraux car un excès de l'un peut provoquer une carence de l'autre. La carence d'un de ces deux minéraux est souvent à l'origine de problèmes nutritionnels (S. J. Casey, 2020a).

L'alimentation idéale pour un animal sauvage est par définition difficile à concevoir. En effet, les connaissances dont nous disposons pour ces espèces sont très limitées en comparaison avec celles que nous avons pour nos animaux de compagnie. Des recherches sont nécessaires afin d'élaborer une alimentation adaptée à ces animaux (S. J. Casey, 2020a).

Nous allons détailler l'état des lieux sur l'alimentation des écureuils jeunes et adultes.

- *Les jeunes*

- Avant sevrage

- Comment choisir son alimentation ?

Pour nourrir les juvéniles avant sevrage, nous avons à notre disposition plusieurs choix. On peut utiliser des recettes artisanales, ce qui a pour contrainte leur confection pratique régulière et l'obligation d'obtenir une bonne précision dans la mesure des différents ingrédients sous peine de créer des déséquilibres. Par exemple pour le calcium ou le phosphore, un équilibre précis doit être atteint, un excès ou un déficit sont tout aussi délétères l'un que l'autre.

On peut aussi utiliser des lactoreplaceurs industriels. Ceux-ci sont parfois controversés car ils correspondent aux produits mis au point pour les animaux de compagnie, or les animaux sauvages peuvent avoir des besoins nutritionnels très différents (S. J. Casey, 2020a).

Les lactoreplaceurs sont pourtant largement utilisés et offrent de bons résultats par exemple au Chuv-FS où le Babycat milk® (Royal canin) est utilisé (Le Barzic, 2013). Ils sont d'ailleurs recommandés dans certains manuels pour leur teneur élevée en lipides (Blackett, 2017) (Tableau 8).

D'autres manuels indiquent qu'ils ne peuvent être utilisés tel quel et doivent être complétés avec d'autres éléments afin de se rapprocher au mieux du lait maternel (Miller, 2019). Complémenter un produit industriel peut s'avérer très délicat et rapidement entraîner des déséquilibres au niveau des minéraux (S. J. Casey, 2020a).

Pour évaluer si un lactoreplaceur est adapté ou non, on peut comparer sa composition à celle du lait maternel, évaluer la qualité du produit, et en observer les effets sur les animaux en termes de développement et de santé (Casey, 2002 ; S. J. Casey, 2020a) :

- Comparaison au lait maternel :

Il est essentiel de bien comparer la composition entre le lait maternel et le lait une fois reconstitué et prêt à l'emploi, et non pas par rapport à la matière sèche. Il faut donc comparer à ce que va effectivement recevoir le jeune (Casey et Goldthwait, 2011a). Ici on compare le lait maternel avec les laits dilués de moitié.

On voit ici que le lait maternel d'écureuil est particulièrement riche en lipides. Les lactoremplacers semblent plus proches de la composition du lait maternel d'écureuil que le lait des autres espèces présentées dans le tableau (Tableau 8). Il paraît donc pertinent d'utiliser le Babycat milk® (Royal Canin) qui donnent également de bons résultats dans le Refuge de l'Écureuil Roux, centre de soin de Seine-et-Marne (Vavasseur, 2020).

Tableau 8 : Composition de plusieurs lactoremplacers (non recomposés et dilués de moitié) et de lait entier comparée au lait maternel d'écureuil (Stocker, 2005 cité par Le Barzic, 2013)

Type de lait (pour 100 g de lait)	Matière sèche (g)	Protéines (g)	Lipides (g)	Lactose (g)
Écureuil	39,6	7,9	26,5	4
Vache	13	3-3,5	3,5-4	4,5-5
Brebis	19	5,5-6	7-7,5	4,5-5
Chèvre	12,86	3,71	4,09	4,2
Babycat milk® (Royal Canin) non recomposé	97	32	37,8	18
Babycat milk® (Royal Canin) dilué de moitié	48,5	16	18,9	9
Esbilac® (Pet Ag) non recomposé	97	32,2	41,7	15,3
Esbilac® (Pet Ag) dilué de moitié	48,5	16,1	20,85	7,65

- Qualité du produit :

Elle comprend l'analyse des constituants, les procédés de fabrication, le stockage, et le protocole de nourrissage indiqué sur l'étiquette.

Les différents processus de fabrication peuvent mener à différents types de poudre. Plus la poudre est légère, plus elle contient d'air entre les particules. Lorsque le manipulateur procède à la reconstitution du lait, le volume de poudre utilisé pourra se révéler inférieur au volume nécessaire

pour que le lait ait les bonnes propriétés, du fait de l'air accumulé entre les particules. Ceci pourra conduire à une sous-nutrition (A. M. Casey, 2020).

Les poudres doivent être stockées à l'abri de la chaleur, de la lumière, de l'humidité et du contact avec l'air. Le date de fabrication sur l'étiquette indique depuis combien de temps la poudre a été stockée. Plus elle a été stockée longtemps et plus le risque d'erreur de stockage est grand (S. J. Casey, 2020b).

Souvent le protocole de nourrissage indique que le lait peut être utilisé juste après reconstitution. Or des études ont montré que laisser reposer le lait reconstitué plusieurs heures au réfrigérateur avant de le faire consommer permet une meilleure dispersion de la poudre. Ainsi, le lait donné est plus homogène (Casey et Casey, 2012).

- Santé et développement des animaux :

Il est important de bien surveiller les animaux à qui on donne un nouveau produit. Il faut évaluer leur croissance, leur développement. Pour cela la pesée quotidienne à heure fixe sera fondamentale pour déceler un retard de croissance ou une perte de poids. On veillera également à noter si on observe des désordres intestinaux, une fourrure terne, des problèmes de comportement.

En 2019, aux Etats-Unis d'Amérique, le signalement de problèmes de santé sur des écureuils (plusieurs espèces) et des opossums (*Monodelphis domestica*) nourris avec de l'Esbilac® a conduit les plaignants à faire analyser le produit par des laboratoires indépendants. Les animaux ont développé des problèmes gastro-intestinaux, des excroissances sur les os, une apathie et une perte de poids. Les analyses ont montré que les taux minimaux en protéines et en lipides annoncés n'étaient pas atteints. De plus, comparé au même lactoreplaceur produit quelques années auparavant, la teneur en calcium était plus basse. Le phosphate dicalcique utilisé dans la nouvelle formule provenait d'une nouvelle poudre moins fine, rendant le calcium moins digestible. Les animaux de compagnie, pour laquelle le lait est produit, n'ont pas manifesté de problèmes de digestion contrairement aux animaux sauvages. Ceci fait encore plus baisser le taux de calcium et peut mener à une hypocalcémie (Casey et Casey, 2020). On constate donc dans cet exemple que le développement de problèmes de santé a permis de mettre à jour un défaut de qualité du produit pour les animaux tels que les écureuils. Le phosphate dicalcique va être remplacé pour permettre une meilleure digestion par les animaux sauvages. On voit aussi que le minimum garanti indiqué sur l'étiquette ne correspond pas toujours à la réalité.

Il faut savoir qu'une mauvaise alimentation peut aussi dépendre d'autres facteurs. Celle-ci est influencée par la qualité du produit que nous avons déjà évoquée, mais aussi par la manipulation, le stockage au centre et par des facteurs intrinsèques à l'animal (Casey, 2002) :

- La manipulation :

La fréquence de distribution et la quantité d'aliment donnée vont être déterminantes pour la nutrition de l'animal. Elles vont dépendre de l'âge et du poids de l'animal.

La reconstitution du lait peut générer des erreurs. Par exemple, l'estimation du volume de poudre à diluer peut ne pas être très précise et une sous-estimation rend les aliments beaucoup moins disponibles pour l'animal. Une solution pour éviter ce problème consiste à peser précisément la poudre, plutôt que d'estimer les volumes. Une autre erreur peut venir du fait que la poudre située en surface d'un paquet sera moins tassée, contenant donc plus d'air ce qui peut de la même façon

mener à une sous-alimentation. On pourra penser à retourner le paquet avant utilisation pour homogénéiser le contenu pulvérulent (A. M. Casey, 2020).

On a montré que pour que le lait soit bien homogène, que la poudre soit convenablement dissoute et que le lait puisse apporter toutes ses propriétés nutritionnelles, la poudre doit être mélangée à de l'eau très chaude mais non bouillante (environ 80°C) et le mélange reposer quelques heures (4-8 h) au réfrigérateur avant d'être consommé (Casey et Casey, 2012). Si la poudre n'est pas bien dissoute, le lait est rendu moins digeste par les particules de poudre qui vont passer directement dans l'intestin (Casey et Goldthwait, 2011a).

- Le stockage :

Les poudres de laits sont constituées de lait et matières grasses, pouvant facilement rancir au contact de l'air par oxydation. Il est important de conserver les poudres dans un contenant hermétique à l'air, à l'abri du chaud et de la lumière (S. J. Casey, 2020b). Elles peuvent être conservées 12-18 mois idéalement à 21°C pour éviter la dégradation des vitamines (Casey et Goldthwait, 2011a).

Dès qu'une odeur apparaît ou que les animaux refusent le lait, il ne faut pas utiliser la poudre. Si la poudre est rance, l'appétence et la qualité nutritionnelle diminuent. Cela pourra être à l'origine de problèmes intestinaux (S. J. Casey, 2020b).

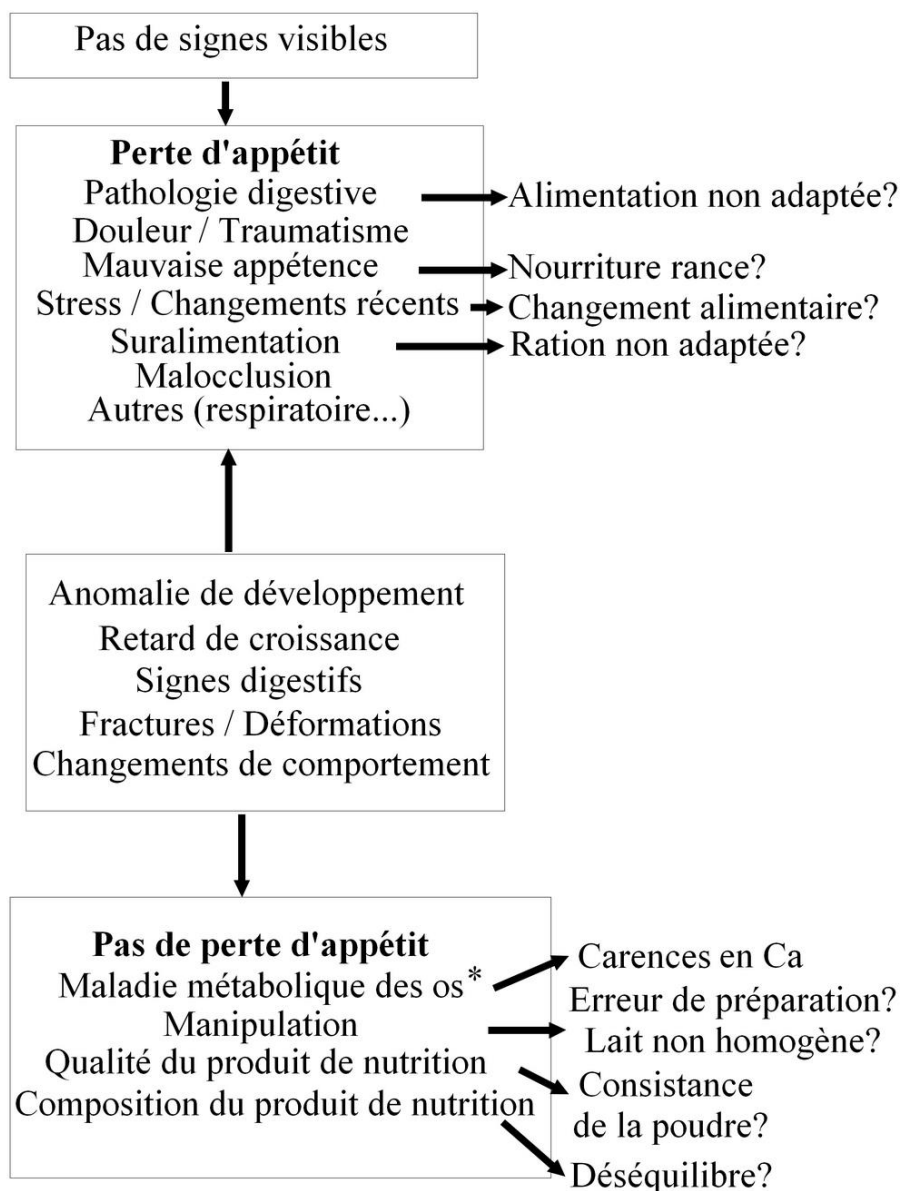
- Facteurs intrinsèques à l'animal

Pour proposer une alimentation adaptée, il faudra tenir compte de l'âge de l'animal. La fréquence et la quantité pourront ainsi varier comme nous le détaillerons par la suite.

Si un animal refuse de manger, cela peut provenir d'une mauvaise appétence mais aussi d'un problème de santé. Une maladie gastro-intestinale, une douleur, des parasites ou une malocclusion, peut provoquer une anorexie. En cas de mauvaise assimilation, l'écureuil peut au contraire ingérer de plus grandes quantités. Une réaction à un médicament, des changements dans l'environnement, le stress sont aussi des facteurs qui peuvent amener l'écureuil à moins s'alimenter. Un excès de nourriture aura également cet effet. Il faudra alors passer en revue ces facteurs afin d'identifier la cause de dysorexie et porter son attention sur d'autres signes pouvant indiquer une pathologie, comme par exemple des diarrhées. Examiner la gueule de l'animal peut permettre de repérer des malocclusions (Figure 25) (S. J. Casey, 2020b).

Nous l'avons vu, la nutrition est un point clé de la prise en charge, mais c'est aussi un sujet à controverses, notamment sur le fait que nous manquons de données spécifiques sur l'alimentation des animaux sauvages. Le paragraphe ci-dessus propose des éléments d'appréciation pour évaluer l'alimentation mais tous les animaux ne vont pas réagir de la même façon face à un même aliment. L'alimentation des animaux sauvages est essentiellement empirique et se fonde actuellement beaucoup sur les expériences des différentes personnes s'occupant de ces animaux. De nombreux facteurs en dehors de la qualité du produit initial peuvent provoquer des problèmes de croissance ou pathologiques. Ainsi, l'expérience des soigneurs est importante à considérer et doit porter sur chaque étape de la préparation et de la distribution de l'aliment afin de déceler de possibles anomalies.

Figure 25 : Éléments permettant de suspecter un problème lié à l'alimentation (figure personnelle d'après (Casey, 2002 ; Casey et Casey, 2012 ; S. J. Casey, 2020b ; A. M. Casey, 2020 ; S. J. Casey, 2020a))



* Perte d'appétit possible

- Quelle quantité et quelle fréquence ?

Les juvéniles ne vont pas avoir les mêmes besoins en fonction de leur âge (Tableau 9).

Tableau 9 : Quantité et fréquence des repas en fonction de l'âge (Bergman-Althouse, 2011 ; Casey et Goldthwait, 2011a ; Le Barzic, 2013 ; Blackett, 2017)

Âge (semaines)	Fréquence des repas	Quantité par repas (ml)
0-2	Toutes les 3 h	0,5-2 ml / environ 5 % du poids
2-4	Toutes les 3-4 h	2-6 ml / environ 5 % du poids
4-5	Toutes les 4 h à 4 fois par jour Introduction de l'alimentation humide	6-8 ml / environ 6-7 % du poids
5-9	Réduction progressive en fonction de l'individu Augmentation de l'alimentation humide	8-14 ml / environ 6-7 % du poids

Ces quantités sont fournies à titre indicatif ; il faudra en effet s'adapter à chaque individu en fonction de leurs réactions. Au Chuv-FS, la quantité minimale à apporter par repas est de 5 % du poids (Quantité en ml = $5 \times \text{poids vif (en grammes)} / 100$) (Le Barzic, 2013). De façon générale, on veillera à ne pas dépasser 7 % du poids (Vavasseur, 2020). La régularité est importante : il ne faut pas sauter un repas, surtout pour les plus jeunes.

Si des problèmes digestifs nous amènent à suspecter une suralimentation, on calculera plus précisément l'apport en volume par repas et on ne dépassera pas 5 % du poids par repas jusqu'à quatre semaines puis 6-7 % du poids par repas au-delà (Casey et Goldthwait, 2011a).

Lorsque le jeune a atteint un poids de 120 g, on peut arrêter le nourrissage la nuit, les besoins sont couverts sans qu'il soit nécessaire de multiplier les repas (Le Barzic, 2013).

- Organisation et matériel

Une bonne organisation est indispensable pour mener à bien cette importante tâche. Une fiche individuelle sera créée afin d'y noter l'heure des repas, la quantité proposée et effectivement prise par l'animal. Il faut noter les anomalies telles que des régurgitations, des refus, des fausses déglutitions, de la diarrhée émise lors des stimulations ou signalée dans la cage. On peut noter également si des fèces sont visibles dans la cage pour savoir si le petit commence à faire ses besoins tout seul (Le Barzic, 2013).

Le poids doit être enregistré tous les jours à heure fixe afin de limiter les biais. Ceci sera important pour suivre l'évolution de la croissance des jeunes et détecter d'éventuels décrochages (Le Barzic, 2013).

Tout événement anormal du point de vu comportemental ou de la vigilance doit être soigneusement noté.

La nourriture sera administrée grâce à une seringue de 1 ml sur laquelle on placera une petite tétine comme celles destinées aux chatons (Le Barzic, 2013). Il faut éviter les seringues de trop grands volumes, au-delà de 3 ml, car elles augmentent les risques de fausses déglutitions. Le débit de distribution des grosses seringues est plus difficile à contrôler que celui des plus petites seringues (Casey et Goldthwait, 2011b).

La plupart des tétines sont trop longues. Il faudra sélectionner des tétines courtes et parfois empêcher que le petit ne prenne toute la tétine dans la bouche à l'aide des doigts. Les tétines en plastique souple peuvent être endommagées par les jeunes qui ont des dents. L'orifice de la tétine et on peut percer celle-ci en y faisant des très petits trous avant de tester la seringue montée (Casey et Goldthwait, 2011b). Le but est de générer de tous petits jets de lait ou de faire sourdre une petite goutte de lait sur la tétine.

On peut conserver le lait reconstitué 24 heures à deux ou trois jours au réfrigérateur. Au moment du repas, il suffit de prélever la quantité voulue et de la chauffer à 37-39°C avant de donner le biberon.

On pourra laver les seringues au minimum à l'eau chaude en les laissant sécher à l'air libre. Des désinfections devront être effectuées régulièrement (Le Barzic, 2013).

- Précautions à prendre

Quelques règles sont importantes à connaître et à bien respecter lors du nourrissage :

- ne jamais nourrir un jeune qui est froid, la priorité étant alors de le réchauffer ;
- ne jamais nourrir un animal déshydraté mais toujours commencer par une réhydratation orale, comme nous l'avons vu dans la prise en charge des urgences ;
- veiller à ce que le petit tète bien et absorbe le liquide lentement (Blackett, 2017). Ne pas presser le piston de la seringue trop fortement pour éviter les fausses déglutitions. Il peut être utile de lubrifier l'intérieur du corps de la seringue avec de la glycérine pour que le piston y coulisse sans effort. Jeter les seringues lorsqu'elles coulisent mal évite d'administrer une trop grande quantité de lait d'un coup. On peut aussi diriger le flux en direction de la joue pour qu'il soit moins puissant (Casey et Goldthwait, 2011b) ;
- veillez à éviter les bulles d'air dans la seringue avant d'administrer le lait (Casey et Goldthwait, 2011b) ;
- ne jamais nourrir un animal s'il n'est pas totalement conscient ou s'il est sur le dos au risque de fausses déglutitions. On veillera à reproduire la position qu'ils prennent en milieu naturel, sur le ventre en attrapant la tétine dans les mains. On l'installe sur une surface confortable et stable pour qu'il se sente en sécurité. On fera très attention à la position de la tête qui ne doit pas être en position trop haute ou penchée (Casey et Goldthwait, 2011b).

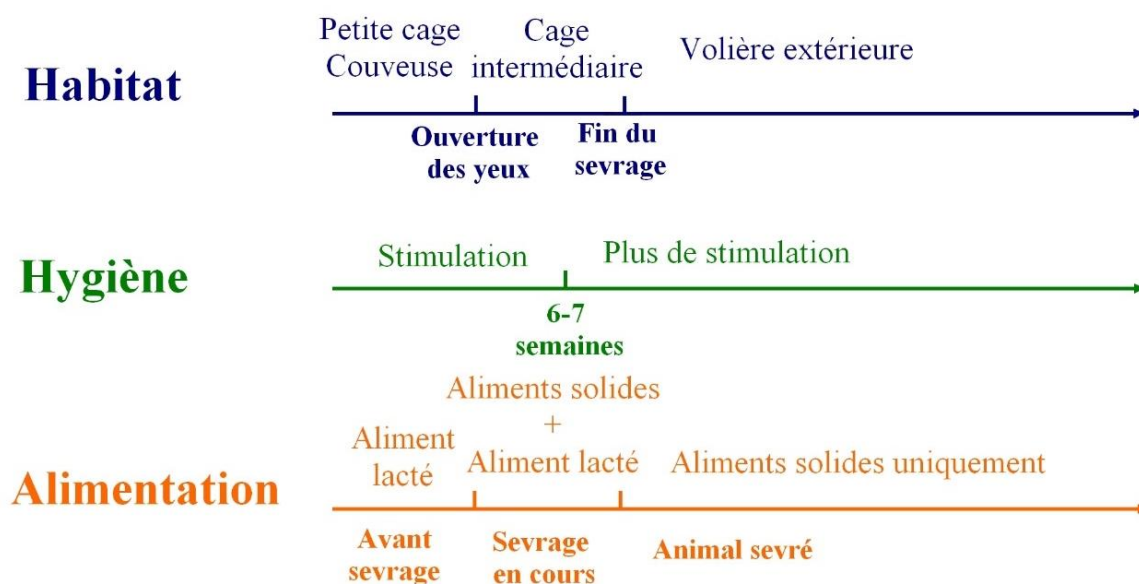
Certains écureuils adultes ne s'alimentent pas seuls mais peuvent être gavés grâce à du lait ou des aliments de gavages (Critical Care® (Oxbow Animal Health) ou Emerald omnivore®). En attendant qu'ils se rétablissent, les mêmes précautions générales sont à prendre, à adapter à chaque situation.

□ Le sevrage

Le sevrage correspond à l'arrêt de l'alimentation lactée. Il doit se faire progressivement pour que le tube digestif ait le temps de s'adapter à l'alimentation solide. A partir du moment où le juvénile non sevré aura ouvert les yeux, il pourra commencer à ronger. Il est alors possible d'introduire des aliments solides en toutes petites quantités (Le Barzic, 2013). A l'état naturel, la mère allaite sa progéniture jusqu'à ce qu'ils soient capables de subvenir seuls à leurs besoins grâce à l'alimentation solide. Il y a donc une phase plus ou moins longue où alimentation solide et lait se complètent (S. J. Casey, 2011). Au Chuv-FS, des noix et noisettes décortiquées sont présentées lorsque le petit a ouvert les yeux et atteint au moins 100 g. Il va d'abord jouer avec puis y goûter (Le Barzic, 2013). Lorsqu'il commence à les manger, la quantité de lait est réduite petit à petit en prenant garde aux comportements individuels.

Lorsqu'ils grandissent et deviennent plus agités, les repas de lait pourront être donnés par biberon ou à travers la cage. Puis le lait pourra être laissé à disposition dans la cage dans une coupelle ou laissé dans le biberon en veillant à le renouveler chaque fois que c'est nécessaire pour des raisons d'hygiène notamment. Ensuite il pourra être remplacé par de l'eau. Il faut que l'eau soit toujours propre et à disposition pendant la phase de sevrage et après, en veillant à la changer régulièrement. L'alimentation solide devra également être changée régulièrement afin de conserver son appétence au maximum (Le Barzic, 2013). Un écureuil en phase de sevrage dans la nature se nourrit sans s'éloigner trop du nid ; sa nourriture n'est donc pas très variée et il faudra s'y conformer en captivité (Casey et Goldthwait, 2011a). D'autres aliments solides sont introduits progressivement comme des fruits, légumes, et autres graines (Le Barzic, 2013) (Figure 26).

Figure 26 : Synthèse de la prise en charge des jeunes écureuils par rapport à l'habitat, l'hygiène et l'alimentation (figure personnelle)



- *L'alimentation des adultes*

Bien qu'on ne garde généralement pas très longtemps un animal adulte ou sevré en centre de soins, leur alimentation est tout aussi importante car elle peut concerner des animaux qui ont encore des besoins de croissance, des individus devant guérir de leurs lésions voire cumulant les deux situations. Les aliments pour rongeurs domestiques regroupent beaucoup d'avantages pratiques mais sont-ils adaptés à l'alimentation d'animaux sauvages ? Nous n'avons pas encore assez de connaissances ni assez de recul sur les besoins des écureuils pour vraiment y répondre (Casey, 2003). Ne les nourrir qu'à l'aide de noix, fruits, ou légumes ne sera pas suffisant pour leur apporter une alimentation équilibrée (S. J. Casey, 2011). En effet, nombre de ces aliments présentent un rapport Ca/P trop faible, ce qui peut prédisposer à des troubles nutritionnels (Blackett, 2017).

Les aliments pour rongeurs domestiques peuvent être classés en trois groupes :

- des aliments pour l'élevage (croissance rapide) et la reproduction riches en énergie et en graisses ;
- des aliments de cycle complet pour une croissance normale : intermédiaires en termes de composition ;
- des aliments d'entretien, conçus pour la captivité comme les animaleries expérimentales, avec un rapport protéines/lipides plus élevé donc moins riches en énergie.

A priori, pour des animaux sauvages en captivité, les aliments les plus adaptés semblent être les aliments de cycle complet pour la croissance. Si le type d'aliment n'est pas spécifié, le calcul du rapport protéines/lipides permet de savoir dans quelle catégorie il se situe. Les aliments de cycle complet ont un rapport protéines/lipides compris entre quatre et six (Casey, 2003).

Le rapport Ca/P idéal devrait être compris entre 1,3/1 et 2/1 d'après certaines études sur la faune sauvage (S. J. Casey, 2020a).

L'appétence entre également en jeu. Afin de l'améliorer on peut froter l'aliment avec des myrtilles fraîches (*Vaccinium myrtillus*) ou des pommes (*Malus spp.*) au début. Il convient d'éviter les friandises, trop riches en glucides et de veiller à stocker l'aliment à l'abri de la chaleur et de l'humidité et de ne pas le conserver plus de six mois après la date de fabrication indiquée sur l'étiquette (Casey, 2003).

Glands ou graines de tournesols doivent être évités (Stocker, 2005). Ils sont riches en acides gras insaturés, ce qui peut empêcher l'absorption efficace du calcium (Blackett, 2017). Par contre, il est conseillé de compléter les aliments pour rongeurs avec des pousses fraîches, des légumes et fruits (comme les brocolis (*Brassica oleracea*), les épinards (*Spinacia oleracea*), les pommes (*Malus spp.*), les mûres (*Rubus spp.*), les poires (*Pyrus communis*), les endives (*Cichorium intybus*), les betteraves (*Beta vulgaris*), les tomates (*Solanum lycopersicum*), les concombres (*Cucumis sativus*), les myrtilles (*Vaccinium myrtillus*), les pêches (*Prunus persica*), les bananes (*Musa spp.*) les ananas (*Ananas comosus*), les prunes (*Prunus domestica*), les framboises (*Rubus idaeus*), les kiwis (*Actinidia spp.*)..., il est toujours judicieux de se renseigner sur la toxicité éventuelle des fruits et légumes avant d'introduire un nouvel aliment). Les fruits et légumes peuvent être présentés en morceaux coupés grossièrement pour permettre aux écureuils de les manipuler. Il faut éviter de les couper en trop petits morceaux afin qu'ils ne se dessèchent pas. Par exemple les bananes ou les concombres seront présentées en tronçons d'environ 2 cm, et une tomate sera

coupée en deux ou trois morceaux (Vavasseur, 2020). On peut également donner des noisettes (*Corylus spp.*), noix (*Juglans regia*), noix de pécan (*Carya illinoensis*), pistaches (*Pistacia vera*), châtaignes (*Castanea sativa*), noix de cajou (*Anacardium occidentale*), noix de macadamia (*Macadamia integrifolia*) (Blackett, 2017). Les aliments trop sucrés comme les raisins (*Vitis spp.*) secs ne sont pas conseillés car également pauvres en calcium (Blackett, 2017). Les écureuils en milieu naturel n'ont pas accès aux mêmes sources de nourriture toute l'année ; on veillera donc à donner des aliments variés. Un nouvel aliment ne devra pas être introduit trop rapidement sans respecter une période de transition (Casey et Goldthwait, 2011a).

Les aliments sont donnés à volonté, sans distinction entre les individus, si ce n'est par rapport à leurs préférences individuelles (Vavasseur, 2020). Ce qui n'est pas consommé doit être éliminé au bout de quelques heures. Si les écureuils commencent à cacher leur nourriture ou qu'ils se frottent les lèvres après les repas, c'est signe qu'ils sont rassasiés.

c. Principales affections rencontrées en captivité

Les écureuils étant des proies, ont tendance à dissimuler leur faiblesse et leur douleur pour paraître le moins vulnérable possible face aux prédateurs. Cela peut rendre délicat la détection des problèmes sur ces animaux captifs. Il faut donc prêter attention à tous les signes même les plus subtils. Connaître le comportement et les postures normales de l'espèce constitue alors un atout et pourra permettre de gérer des problèmes précocement, avant que des signes plus évidents n'apparaissent. Il est important que l'équipe de soins soit formée sur les espèces dont elle s'occupe. Limiter le nombre de personnes s'occupant d'un individu en particulier peut leur permettre de repérer plus rapidement et plus efficacement des changements d'attitude. Il est nécessaire de passer un minimum de temps et d'être attentif lors des soins. Les fiches détaillées dont nous avons parlé dans la partie alimentation seront primordiales pour repérer certains changements. On y notera tous les soins effectués, la nature des traitements, les heures d'administration des traitements, les quantités administrées, les changements d'alimentation ou d'environnement, et toute anomalie constatée. Le poids sera également un élément à contrôler tous les jours à heure fixe chez les jeunes qui doivent prendre du poids régulièrement tout comme chez les adultes dénutris (Casey et Goldthwait, 2012).

La période qui suit le sevrage est une phase critique à cause du stress subi qui rend les animaux plus sujets à développer des affections pathologiques liées à une baisse d'immunité (Blackett, 2017).

Les traitements thérapeutiques sont directement extrapolés à partir des connaissances que nous avons sur les rats et souris de laboratoires (Blackett, 2017). Les injections les plus courantes sont réalisées par voie sous-cutanée, effectuées entre les omoplates ou au niveau de la cuisse, et les injections intra-musculaires réalisées au niveau du quadriceps. On utilise généralement une aiguille de 25G.

- ***Troubles liés à l'alimentation***

Nous avons pu voir que l'alimentation était centrale dans la gestion des animaux en centre de soins, et qu'elle pouvait être à l'origine de troubles variés (Figure 25).

Si on observe une perte d'appétit, il convient de s'interroger sur l'origine de cette anorexie en portant premièrement son attention sur les autres signes cliniques présents, s'il y en a. On peut observer des dents non alignées, ce qui nous orientera vers une malocclusion, des postures anormales pouvant suggérer une douleur, un stress. Si de la diarrhée est visible, elle oriente aussi

vers une pathologie digestive ou une alimentation défectueuse. Des retards de croissance et des anomalies de développement peuvent orienter vers un problème d'équilibre de la ration alimentaire. Parfois, aucun signe n'est visible, il faudra se demander si un stress ou un changement s'est produit, si une nouvelle alimentation a été introduite. Tous les facteurs déjà envisagés susceptibles de contribuer à une dégradation de l'aliment peuvent avoir des conséquences cliniques dont l'expression est souvent peu spécifique (Figure 25).

En cas d'anorexie, il faudra régler la source du problème. Pour faciliter la reprise alimentaire on pourra proposer une alimentation plus appétente comme du Hill's a/d (Hill's Prescription Diet®) ou de l'Emeraid omnivore®. S'il ne s'alimente pas de lui-même, on pourra le gaver à la seringue, en veillant à ne pas provoquer de fausse déglutition. Dans certains cas, on sera amené à poser une sonde de réalimentation naso-oesophagienne ou une sonde d'oesophagostomie. Afin de ne pas dépasser la capacité stomacale, le gavage se fera par petits volumes administrés fréquemment (Le Barzic, 2013).

□ Maladies gastro-intestinales

○ Manifestation clinique

En pratique, il s'agit en premier lieu de repérer un problème gastro-intestinal. Les fèces normales de l'écureuil sont fermes, inodores, de couleur brun à noir. Le signe le plus commun est la diarrhée ; elle apparaît généralement progressivement. On pourra repérer des changements de consistance, d'odeur et de couleur (Casey et Goldthwait, 2012). Nous parlerons ici principalement de la diarrhée.

On peut aussi voir apparaître de la constipation, bien que ce signe soit beaucoup plus rare. De l'huile de paraffine peut être administrée *per os* à la dose de 1 ml/kg (Le Barzic, 2013).

À la suite d'un changement alimentaire brutal, une suralimentation, ou une rétention des fèces on peut voir apparaître une météorisation. Du métoclopramide (Emepriid®) à la dose de 0,2 à 1 mg/kg peut être administrée *per os* ou par voie sous-cutanée deux fois par jour. Le plus important sera de gérer la cause du problème (Le Barzic, 2013).

○ Causes

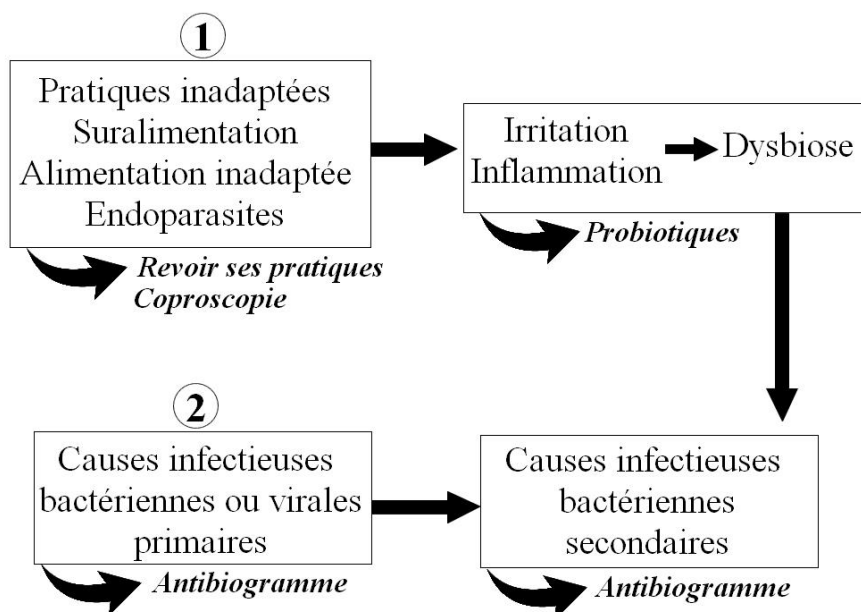
Les causes de maladies gastro-intestinales sont nombreuses. Il sera important de respecter une démarche systématique afin de déceler l'origine du problème. Il n'y a pas forcément une seule origine au problème. Voici une liste non exhaustive (Casey et Goldthwait, 2012) des causes possibles de diarrhée:

- Avant l'arrivée au centre :
 - mauvaise alimentation en lien avec une mère malade ou faible ;
 - transmission d'agents pathogènes par la mère (virus, bactéries, endoparasites) ;
 - mauvaise évacuation des fèces (juvénile orphelin, mère trop faible) ;
 - alimentation non adaptée administrée par un découvreur ;
 - réalimentation trop précoce d'un animal hypotherme ou déshydraté;
 - contact avec un toxique.

- Mauvaises pratiques au centre :
 - o mauvaise gestion de la quarantaine (transmission d'agents pathogènes) ;
 - o mauvais contrôle parasitaire ;
 - o hygiène déficiente (développement et transmission d'agents pathogènes) ;
 - o réalimentation trop précoce d'un animal hypotherme ou déshydraté ;
 - o lait trop froid, non homogène donc moins digestible ;
 - o erreur de reconstitution du lactoreplaceur menant à une sous nutrition ;
 - o suralimentation ;
 - o introduction d'un nouvel aliment sans transition ;
 - o stress ou changements brutaux.
- Produits d'alimentation :
 - o Problème de composition (carences, excès de sucre, déficit en lipides, ...) ;
 - o qualité dégradée (poudre trop légère, mauvaise dissolution...).
- Santé de l'animal :
 - o malocclusion, douleur (anorexie, difficulté à s'alimenter).
- Médicaments :
 - o antibiothérapie sans probiotique ;
 - o excès de probiotiques ;
 - o erreur de dosage, erreur de traitement.

Les causes les plus courantes sont des pratiques inadaptées, une suralimentation et la présence d'endoparasites en quantité. La prévention sera importante pour éviter ces problèmes. En cas de signes digestifs, on s'interrogera donc en premier lieu sur les pratiques liées à l'alimentation (*cf* partie Soins-Alimentation), à l'hygiène, à la quarantaine et à la gestion des parasites. Il faudra vérifier les protocoles, et le cas échéant effectuer une coproscopie afin de rechercher en particulier des coccidies. Si tout est correct, les causes infectieuses autres que parasitaires, plus rares, seront recherchées. On sait aussi que l'irritation et l'inflammation du tractus digestif liées à la diarrhée peuvent conduire à la persistance de la diarrhée, à des ballonnements et une dysbiose pouvant induire le développement de bactéries pathogènes. Il conviendra de donner des probiotiques pour limiter ce phénomène. Si une cause infectieuse est suspectée, un antibiogramme devra être réalisé avant de démarrer une antibiothérapie (Figure 27) (Casey et Goldthwait, 2012).

Figure 27 : Conduite à tenir en cas de signes digestifs (Figure personnelle d'après (Casey et Goldthwait, 2012))



○ Traitement de soutien

Tout animal présentant des signes digestifs de type diarrhée ou fèces molles sera isolé pour éviter toute contamination, et placé dans une petite cage pour limiter ses dépenses énergétiques. Une bonne hydratation sera importante à respecter : on pourra ainsi le réhydrater par voie orale avec des fluides isotoniques (Ringer Lactate®, Pedialyte®, Biodiet®) ou par voie intraveineuse ou intraosseuse dans les cas de déshydratations graves (Casey et Goldthwait, 2012). Les repas lactés des jeunes pourront être stoppés pendant quelques heures en leur substituant des réhydratants oraux, avant de réintroduire du lait dilué puis d'augmenter la proportion de poudre progressivement. Une solution alternative consiste à diluer ou remplacer le lait par du yaourt de brebis (Le Barzic, 2013). Il faudra veiller à garder une hygiène impeccable en nettoyant le matériel et l'environnement de l'animal. Privilégier des linges en guise de nid, car une boîte sera plus difficile à nettoyer. Les linges clairs, sont facilement lavables et permettront une détection rapide de changement de couleur ou de consistance des fèces. Il faut également nettoyer les souillures sur l'animal pour éviter les irritations et les infections (Casey et Goldthwait, 2012).

○ Traitement spécifique

Nous allons détailler quelques conduites à tenir dans des cas où la cause est identifiée. Les problématiques portant sur le choix des aliments et pratiques alimentaires associées ont déjà été traitées. La quarantaine et l'hygiène ont été abordées dans la partie habitat.

- Mauvaises pratiques

Si une mauvaise pratique est identifiée comme étant une des causes de problèmes digestifs, il conviendra de modifier les protocoles en se référant aux paragraphes correspondants pour plus d'informations.

- Suralimentation

Une suralimentation pourra entraîner une mauvaise digestion. Si les fèces deviennent plus molles, collantes, malodorantes, plutôt jaunes et s'améliorant lorsqu'on espace les repas, cela suggère fortement une suralimentation. Soit on donne des repas trop volumineux, soit on les espace insuffisamment. En pratique on essaiera de ne pas dépasser 5 % du poids vif d'un juvénile non sevré par repas. Lorsqu'ils sont proches du sevrage, on pourra monter jusqu'à 6-7 % du poids. On ne fera pas deux repas à moins de 2h30 d'intervalle et on veillera à vérifier l'état de réplétion de l'estomac des petits avant de les nourrir. S'il est encore trop gonflé, on a peut-être un problème de suralimentation (Casey et Goldthwait, 2011a).

La conduite à tenir est simple, à savoir calculer le volume de lait donné. S'il est correct, on peut espacer les repas voire en supprimer un. L'alimentation prodiguée doit être saine et nutritive, administrée en quantité et fréquence appropriées pour l'âge de l'animal (Casey et Goldthwait, 2012).

Pour la nourriture solide, on préférera distribuer par petites quantités plusieurs fois par jour, et non pas une grosse quantité en une seule fois (Casey et Goldthwait, 2011a).

Il faut éviter d'augmenter directement la ration d'un animal qui paraît plus petit sans s'interroger au préalable sur les causes de ce retard de croissance. Parfois certains individus mettront plus de temps que les autres à atteindre un poids normal (Casey et Goldthwait, 2011a). Proposer plus d'aliments à ces animaux serait contre-productif car une mauvaise digestion et des troubles digestifs handicameraient encore davantage leur croissance (Casey et Goldthwait, 2012).

- Causes infectieuses : endoparasites

Les parasites responsables des signes digestifs les plus courants chez l'écureuil roux sont les coccidies (*Eimeria sciurorum*). Les signes cliniques sont souvent une alternance de fèces normales *versus* molles et jaunes. Parfois seul un retard de croissance est visible. Il faudra faire une coproscopie pour visualiser ces parasites.

Moins fréquemment on peut aussi rencontrer des nématodes infestant les écureuils (*cf.* partie Principales affections rencontrées - Maladies d'origine infectieuse).

En plus du traitement de soutien décrit plus haut, on administrera des molécules actives contre les coccidies, comme l'association triméthoprime/sulfamide (Bactrim®) à la dose de 15 mg/kg toutes les 12 h ou 30 mg/kg toutes les 24 h pendant 10 à 20 jours par voie orale, intramusculaire ou sous-cutanée pour traiter une coccidiose (Blackett, 2017).

Pour les nématodes, le traitement pourra se faire à base d'ivermectine (Ivomec®) à la dose de 0,2 à 0,4 mg/kg par voie sous-cutanée, répétée tous les cinq à sept jours. Cet antiparasitaire présente une écotoxicité envers les arthropodes ; on doit donc l'utiliser avec précaution, surtout sur des animaux qui seront remis en milieu naturel (Le Barzic, 2013). On pourra aussi utiliser du pyrantel pamoate en suspension orale à donner en prise unique à la dose de 50 mg/kg par voie orale. Bien que des cas de toxicité ont pu être observés sur certains rongeurs (porc-épic (*Erethizon spp.*)), on peut utiliser également du fenbendazole (Panacur®) à raison de 10-25 mg/kg par voie orale une fois par jour pendant cinq jours (Miller, 2019).

- Déséquilibre de la flore

Les antibiotiques peuvent dérégler la flore intestinale et provoquer des diarrhées (Bergman-Althouse, 2011 ; Casey et Goldthwait, 2011a). Ainsi, on ajoutera des probiotiques (*Saccharomyces boulardii*) comme Florastor® à raison d'une gélule ouverte et diluée dans de l'eau deux fois par jour. Une trop grande quantité de probiotiques, peut cependant déséquilibrer davantage la flore (Casey et Goldthwait, 2011a).

- Causes infectieuses bactériennes

Une analyse de fèces permet de mettre en évidence des bactéries pathogènes. La présence de mucus, de fausses membranes ou d'une hématochézie sont des facteurs qui peuvent laisser suspecter une origine bactérienne. Dans ce cas, un traitement de soutien et une fluidothérapie sont combinés avec des antibiotiques *ad hoc*. Un antibiogramme est nécessaire pour mettre en œuvre une antibiothérapie ciblée. En captivité, on peut retrouver par exemple des salmonelles, *Campylobacter* spp. (Le Barzic, 2013). Il ne faudra pas oublier de combiner antibiotiques et probiotiques. On rapporte une toxicité sur les souris et les rats de l'utilisation de la pénicilline sous forme de procaine ou de streptomycine, il n'est pas conseillé de l'utiliser sur les écureuils roux. (Blackett, 2017).

- Causes infectieuses virales

L'adénovirose est très souvent asymptomatique mais peut aussi être responsable de diarrhée et de mort soudaine. C'est une affection principalement entérique qui touche également d'autres organes comme la rate. Le diagnostic se fait par PCR sur les tissus de la rate ou par microscopie électronique sur un échantillon de contenu intestinal. Le traitement est uniquement un traitement de soutien. Il faudra surveiller l'évolution afin de traiter par des antibiotiques en cas de surinfection bactérienne après réalisation d'un antibiogramme (Blackett, 2017).

La rotavirose est une affection qui affecte plutôt les juvéniles et se manifeste par une diarrhée. Le diagnostic se fait par microscopie électronique et analyse d'échantillons fécaux. Là encore, il s'agit d'un traitement de soutien associant une antibiothérapie ciblée en cas de surinfection bactérienne (Blackett, 2017).

- Carences alimentaires

En cas de nourriture inappropriée, des carences alimentaires vont apparaître. En particulier la maladie métabolique des os est une carence en calcium et en vitamine D. Un ratio phosphocalcique inadéquat avec un excès en phosphore ou un déficit en calcium, des aliments riches en acides gras insaturés comme les graines de tournesols distribués en trop grande quantité pourront conduire à cette maladie. Le manque d'exposition à la lumière du soleil jouera également (Stocker, 2005 ; Bergman-Althouse, 2011 ; Blackett, 2017). Les signes en sont une baisse de l'activité, une possible anorexie, une perte de poids, une apathie ; des tremblements sont possibles avec une incapacité à se tenir debout sur les postérieurs. Une fois la maladie à un stade plus avancé, des déformations peuvent apparaître au niveau des os, ainsi que des fractures spontanées des os et des dents (Blackett, 2017).

Une radiographie permettra de mettre en évidence une densité réduite de la corticale des os longs, et parfois une déformation du squelette. La manipulation des os fragilisés doit être précautionneuse (Blackett, 2017).

Le traitement consiste à supplémenter l'animal en calcium et en vitamines. On peut utiliser des formulations liquides comme Calcivet liquide® ou Zolcal-D® qui contiennent du calcium et de la vitamine D3 *per os* ou dans l'eau de boisson (Blackett, 2017). On pourra également utiliser des compléments alimentaires riche en calcium et vitamine D3 qu'on pourra trouver en animalerie (Komodo® complément alimentaire vitamine D3 et calcium) (Vavasseur, 2020). Une fluidothérapie et une analgésie seront mises en place si besoin. Le temps de la convalescence, il faudra limiter les mouvements et les sauts en confinant l'animal dans une petite cage. Cela évitera qu'il ne se fasse de nouvelles fractures en tombant. Celles-ci guérissent généralement correctement, mais il faut attendre une récupération complète avant d'envisager le relâcher. Si des déformations trop importantes se sont développées, l'animal ne pourra pas être relâché ; il faudra considérer une euthanasie ou un transfert dans un lieu de captivité définitive (Blackett, 2017).

La ration devra impérativement être réadaptée. On pourra se tourner davantage vers des aliments riches en calcium (chou vert (*Brassica oleracea*), céleri (*Apium graveolens*), pissenlit (*Taraxacum spp.*), betteraves, roquette (*Eruca sativa*), épinards, radis (*Raphanus sativus*) ...). Un os de seiche pourra être rajouté dans la cage. Il faudra veiller à exposer les écureuils au moins une heure par jour à la lumière directe du soleil, les rayons filtrant au travers des vitres n'est pas suffisants (Bergman-Althouse, 2011).

□ Malocclusion

Différentes causes peuvent mener à une malocclusion. Des fractures de dents ou de la mâchoire dues à un traumatisme, une infection ou une carence nutritionnelle à l'origine de déformations de la mâchoire peuvent en être la cause. Il en résulte une perte de dents ou un défaut d'alignement (Blackett, 2017). L'écureuil est un rongeur, il présente une dentition élodont, ses incisives, molaires et prémolaires ont une croissance continue et c'est l'usure des dents l'une en face de l'autre qui permet de les limer. Par l'absence ou à la suite d'un mauvais alignement de l'une d'entre elles, l'affrontement n'a pas lieu. La dent qui ne s'use pas va parfois venir transpercer les tissus qu'elle va rencontrer en poussant (Bergman-Althouse, 2011). Si des plaies se forment, des surinfections sont possibles (Blackett, 2017). Les signes de malocclusion en dehors de la déformation de la dentition sont une difficulté à manger, des mouvements anormaux de la tête, un émiettement lors du repas et parfois de l'anorexie.

Le traitement implique une coupe de dents, une analgésie en cas de plaie ainsi que des antibiotiques pour traiter les surinfections. L'animal doit recevoir des soins toute sa vie et ne peut pas être relâché (Blackett, 2017).

• *Troubles respiratoires*

□ Bronchopneumonie par fausse déglutition

C'est une affection qui fait suite à l'entrée d'un corps étranger dans le système respiratoire. Elle peut survenir dans diverses situations mais une fausse déglutition au moment du biberonnage à la main est de loin la cause la plus fréquente. Dans des cas graves, un grand volume de lait vient compromettre la respiration. La conséquence en est une bronchopneumonie, circonscrite typiquement au lobe crânial ventral. Le lait est un milieu propice au développement de bactéries ; on peut voir alors apparaître des surinfections (Casey et Goldthwait, 2011b).

Lors du nourrissage, il faudra être vigilant aux signes de fausse déglutition. Si on observe la formation de bulles au niveau des narines, si l'animal se met à s'étouffer, se retire de la tétine ou

réurgite, il est peut-être en train de faire une fausse déglutition. Dans ce cas, il faut stopper immédiatement le nourrissage, pencher le juvénile tête en avant pour laisser s'écouler le liquide, sans le secouer (Casey et Goldthwait, 2011b ; Bergman-Althouse, 2011).

Il se peut qu'on n'observe aucun signe pendant le repas, et qu'ensuite l'état de l'animal se dégrade. Des signes comme une réticence à manger, une diminution de l'activité, une fourrure hérissée peuvent nous orienter vers ce problème. L'animal dort beaucoup et est difficile à réveiller. Dans les cas graves on observe une dyspnée expiratoire voire également inspiratoire, une respiration gueule ouverte. On peut entendre des crépitements à l'auscultation, principalement en région crâniale droite (Casey et Goldthwait, 2011b).

Il faut penser à demander lors de l'admission d'un juvénile non sevré si celui-ci a été nourri et si oui, comment. Parfois certains signes peuvent nous le faire suspecter si on retrouve du lait ou de la poudre de lait dans les poils, dans les narines ou en périphérie. Une fausse déglutition a pu arriver à ce moment-là, c'est donc un indice qui peut également nous orienter (Casey et Goldthwait, 2011b).

La prévention est donc importante pour prévenir cette affection. Les précautions à prendre sont détaillées dans la partie alimentation. Si une telle affection concerne un écureuil, il faut s'interroger sur les causes, afin de rectifier la façon de faire si besoin, et corriger les erreurs de prise en charge. Une bonne connaissance de toutes ces précautions par l'ensemble des personnes soignantes est primordiale (Casey et Goldthwait, 2011b).

Différentes causes sont possibles (Casey et Goldthwait, 2011b) :

- un volume administré trop important en cas d'emploi de trop grosses seringues en particulier ;
- une tétine inadaptée : la taille des tétines est souvent supérieure à la taille des tétines des femelles écureuils. Il faudra trouver des tétines adaptées et éviter qu'ils ne mettent plus d'un tiers des tétines dans la bouche ;
- une mauvaise position de l'écureuil au moment du repas : le juvénile dans la nature tête en position allongée sur le ventre ou à la verticale. Lorsqu'il grandit il prend la tétine dans ses mains. Il faudra reproduire ce comportement en le plaçant à la verticale ou sur le ventre, dans une serviette ou une couverture. Il faut qu'il se sente en sécurité, le stress peut aussi être un facteur de risque d'une fausse déglutition car il sera plus agité ;
- une différence de viscosité du lait : le lait reconstitué est moins visqueux que le lait maternel ; les petits vont donc exercer une force d'aspiration plus forte que nécessaire, ce qui peut engendrer de fausses déglutitions.
- le manque d'expérience et la distraction éventuelle du soigneur : il faudra procéder à des rappels de formation réguliers à tout le personnel, et éviter tant que faire se peut les distractions pendant un nourrissage.

Lorsqu'un animal est atteint, on le place à part dans une petite cage pour restreindre l'activité et éviter les jeux avec les congénères. Il faudra surveiller son état d'hydratation en évitant le recours à la voie orale en cas de besoin. On veillera à garder les narines propres en cas d'écoulement en les nettoyant souvent. Il faudra continuer à le nourrir en faisant très attention à ne pas provoquer

une nouvelle fausse déglutition, avec une alimentation adéquate. On pourra réaliser des inhalations. On peut placer l'écureuil dans une boîte de transport et ajouter un bol rempli d'eau chaude devant la boîte. On recouvrira le tout d'un linge ou d'une serviette pendant dix minutes (Casey et Goldthwait, 2011b).

On mettra en place une antibiothérapie en cas de surinfections bactériennes. Certains auteurs préconisent l'association sulfadoxine-triméthoprine (Bactrim®) à la dose de 15 mg/kg deux fois par jour ou 30 mg/kg une fois par jour par voie intramusculaire pendant au moins une semaine. On peut aussi utiliser l'enrofloxacin (Baytril®) après réalisation d'un antibiogramme à la dose de 10 mg/kg par voie sous-cutanée une fois par jour (Bergman-Althouse, 2011 ; Casey et Goldthwait, 2011b ; Blackett, 2017). Comme nous l'avons déjà mentionné, on évitera d'utiliser des pénicillines qui sont connues pour provoquer des problèmes notamment digestifs (entérites hémorragiques) chez les rongeurs. L'antibiothérapie peut être prolongée jusqu'à quatre semaines (Casey et Goldthwait, 2011b).

On placera le juvénile dans une cage sous dioxygène. Si celui-ci ne peut respirer sans supplémentation de dioxygène, le pronostic sera très réservé (Casey et Goldthwait, 2011b ; Le Barzic, 2013).

□ Bronchopneumonie infectieuse

Les bronchopneumonies bactériennes sont les plus courantes ; elles peuvent être causées par une plaie pénétrante ou le développement d'une infection systémique. Elle se différencie de la bronchopneumonie par fausse déglutition par l'auscultation pulmonaire ou par la radiographie, car c'est alors l'ensemble du poumon qui sera atteint et non plus uniquement le lobe crânial ventral (Casey et Goldthwait, 2011b).

Les agents pathogènes les plus fréquemment rencontrés sont des bactéries : *Bordetella bronchiseptica* et *Pasteurella multocida*. Le traitement consiste en un traitement de soutien et une fluidothérapie comme pour la bronchopneumonie, une analgésie si besoin et une antibiothérapie à large spectre, active contre les bactéries à Gram négatif telle que l'association triméthoprine et sulfamides (Bactrim®). On peut utiliser l'enrofloxacin (Baytril®), active sur *Bordetella bronchiseptica* et *Pasteurella multocida* après réalisation d'un antibiogramme, à la dose de 10 mg/kg une fois par jour par voie sous-cutanée (Casey et Goldthwait, 2010 ; Casey et Goldthwait, 2011b ; Blackett, 2017).

Des soigneurs ont pu développer des signes cliniques respiratoires au contact d'animaux infectés. Il est donc nécessaire de bien respecter les mesures d'hygiène et de se protéger par un masque et gants lors de la manipulation des individus malades. On sait que les signes cliniques peuvent se développer à la suite d'un stress, ou toute autre cause de baisse d'immunité. Il sera très important également de bien respecter la quarantaine des animaux qui arrivent au centre, afin de déceler les animaux qui développeraient ce genre d'affection (Casey et Goldthwait, 2010).

• *Affections cutanées*

□ Squirrel poxvirose

Cette maladie virale est inconnue en France actuellement, en l'absence de populations d'écureuils gris dans l'hexagone. Il est important de savoir reconnaître les signes de cette maladie, puisque l'écureuil gris pourrait arriver un jour sur le territoire national.

Les signes en sont une léthargie, un mauvais état général, et le développement de lésions cutanées qui sont souvent surinfectées par *Staphylococcus aureus*. On voit apparaître une dermatite érythémateuse, érosive à ulcéraire avec des croûtes hémorragiques sur les lèvres, autour des yeux, des oreilles et du nez en premier lieu. Les lésions peuvent s'étendre aux doigts, à la queue, aux régions génitale et périnéale.

Le diagnostic se fait sur la base de la présentation clinique et l'examen au microscope électronique d'échantillons de peau (visualisation de la dégénérescence des kératinocytes) (Blackett, 2017).

Le traitement est un traitement de soutien, une fluidothérapie, une analgésie et une antibiothérapie. On pourra utiliser un traitement oculaire à base d'acide fusidique. Des auteurs rapportent l'utilisation de l'interféron oméga qui améliorerait le taux de survie des animaux traités. Il faudra absolument éliminer les ectoparasites sur tous les animaux car les puces sont reconnues comme étant vectrices de la maladie. Le pronostic est très réservé car le taux de mortalité est très important chez les écureuils roux. L'euthanasie pourra être envisagée (Blackett, 2017).

Comme nous l'avons vu, des individus séropositifs au SQPV ont été identifiés, ce qui pourrait indiquer l'existence d'une immunité naturelle. La question est donc de savoir si ces individus peuvent tout de même transmettre la maladie à d'autres écureuils ou non. Ceci a une importance dans la gestion de cette maladie en centre de soins car il faut savoir s'il est éthique pour la population d'écureuils de relâcher un animal qui a été contaminé par la maladie ou s'il représente un danger pour les autres.

□ Dermatite exsudative fatale

Les signes cliniques de cette affection ressemblent beaucoup au SQPV. On retrouve des lésions exsudatives avec des croûtes sur le nez, les lèvres, les doigts, ainsi que des zones d'alopecie et ulcérées. Il y a toujours une infection par *Staphylococcus aureus* qui pourrait être la cause de cette maladie (Blackett, 2017).

Le diagnostic se fait par microscopie électronique des lésions et culture bactérienne (Blackett, 2017).

Le traitement est là encore un traitement de soutien, une fluidothérapie, une analgésie et une antibiothérapie ciblée contre *Staphylococcus aureus*. L'enrofloxacin (Baytril ®) pourra être utilisée (Tableau 10). Une euthanasie peut également être envisagée en fonction de l'évolution et compte tenu de la forte mortalité associée à cette maladie (Blackett, 2017).

□ Ectoparasites

On retrouve généralement plus souvent des parasites sur les juvéniles et les adultes en mauvais état général que sur les adultes en bonne santé. Ces parasites peuvent causer des lésions cutanées ou cutanéomuqueuses et transmettre d'autres agents pathogènes. Les plus fréquents sont les puces (*Monopsyllus sciurorum*) et les tiques (*Ixodes ricinus*). On peut également trouver des poux (*Neohaematopinus sciuri*) ou des acariens (*Dermacarus sciurinus* principalement) (Le Barzic, 2013 ; Blackett, 2017). Les parasites sont, autant que faire se peut, retirés à la main ou au peigne. L'ivermectine (Ivomec®) est généralement utilisée, en « spot on » en appliquant une goutte sur la peau au niveau de la nuque, deux fois à 15 jours d'intervalle. On ne traite pas les très jeunes animaux (Le Barzic, 2013).

□ Réactions cutanées

Certains produits utilisés pour laver les couvertures ou l'habitat peuvent provoquer un prurit, une alopecie, une peau sèche. Si ces signes sont visibles, il faudra penser à cette origine possible pour envisager une éviction.

• *Traumatismes*

Une grande partie des écureuils amenés en centre de soins ont été victimes de traumatismes. Ceux-ci peuvent être consécutifs à plusieurs événements. Par exemple les chutes à la suite d'un élagage sont très fréquentes, tout comme les collisions avec une voiture, les morsures par un chat ou un congénère. Des manipulations intempestives par des personnes inexpérimentées peuvent aussi être à l'origine de fractures. La gestion de ces cas passe par une stabilisation avant tout autre traitement (Blackett, 2017). On pourra se référer utilement à la partie sur la prise en charge des urgences, on détaillera ici une prise en charge plus spécifique en fonction des cas.

□ Plaies

La gestion des plaies est la même que celle des plaies de rongeurs domestiques et passe par un nettoyage et une désinfection (Blackett, 2017).

En cas de morsure de chat ou en cas de plaie de date inconnue ou remontant à plus de 12 h, on utilisera aussi des antibiotiques comme la combinaison sulfadoxine-triméthoprim (Bactrim®). On pourra aussi utiliser l'enrofloxacin (Baytril®) en cas de surinfections et après réalisation d'un antibiogramme (Tableau 10 pour les doses) (Casey et Goldthwait, 2013).

On pourra utiliser des anti-inflammatoires non stéroïdiens comme du méloxicam, des opioïdes (Tableau 7) ou parfois recourir à une anesthésie locale (Casey et Goldthwait, 2013).

□ Abcès

Les abcès sont souvent causés par des morsures d'autres écureuils. Le traitement est le même que pour les abcès de rongeurs domestiques. On nettoie, on désinfecte et on ne suture pas. Si l'ouverture est très importante on pourra refermer en posant un drain. On ne donne des antibiotiques que si on observe une hyperthermie.

□ Traumatisme crânien ou spinal

Des signes comme une épistaxis, une mâchoire luxée, des dents fracturées ou des signes neurologiques comme une ataxie nous oriente vers un traumatisme crânien. L'anamnèse peut y faire penser également, mais elle n'est pas toujours connue. La prise en charge nécessite une mise sous dioxygène et une restriction de mouvement dans une petite cage. On évitera de trop stimuler les sens en évitant une trop forte exposition à la lumière, à des odeurs, à des bruits intempestifs.

Une vessie pleine indique une incapacité à uriner, ce qui peut être le signe d'une atteinte neurologique grave chez un animal sauvage. Si ce signe est accompagné d'une perte de nociception le pronostic est très réservé (Bergman-Althouse, 2011). Ces animaux ne sont généralement pas relâchables.

- Fractures

Souvent, ce sont les membres pelviens qui sont touchés. Un confinement restrictif dans une cage de petit volume peut suffire pour le traitement spontané de fractures simples et fermées. Il faudra fournir une analgésie adaptée. Certaines fractures plus complexes et ouvertes pourront être prises en charge chirurgicalement. Cependant, certaines fractures ouvertes ou surinfectées sont non traitables car la probabilité de survie à l'état sauvage serait trop réduite et dans ces cas-là l'euthanasie est préconisée. Les luxations articulaires sont souvent de très mauvais pronostic (Bergman-Althouse, 2011).

- *Autres troubles*

- Contacts avec l'homme

Il n'existe pas d'imprégnation chez les écureuils car c'est une espèce nidicole. A cet âge, ils ont besoin de contact. Ensuite les manipulations seront à minimiser car elles sont sources de stress.

- Paraphimosis

Les jeunes qui partagent le même habitat peuvent être amenés à développer un trouble qui consiste à téter leurs congénères et en particulier les parties génitales mâles, voire les leurs. Ceci peut engendrer une inflammation du prépuce (paraphimosis), voire une infection. Ceci provient du fait qu'avec sa mère le jeune peut exercer ce comportement plus souvent et quand il le souhaite. En captivité, ce n'est pas lui qui choisit le moment de ses repas. Lorsque ce comportement se produit, il faut séparer l'individu présentant ce trouble, et enrichir les habitats par des éléments permettant aux petits de venir exercer ce comportement sur d'autres supports que sur ses congénères ou lui-même. On peut aussi laisser au maximum les jeunes téter au moment des repas, même à la fin de la seringue. Les surinfections pourront être traitées par des antibiotiques locaux (Bergman-Althouse, 2011).

- Empoisonnement

Le cas le plus courant est l'ingestion de rodenticides, traitée par l'administration de vitamine K avec une première injection par voie sous-cutanée suivie de 30 jours *per os*, à raison d'une fois par jour (Stocker, 2005 ; Bergman-Althouse, 2011).

Bien que les transmissions à l'homme restent rares, des zoonoses (Bordetellose, Pasteurellose, Dermatophytose...) existent chez les écureuils roux. On fera attention à respecter l'hygiène élémentaire et les précautions indispensables lors de leur manipulation.

L'annexe 3 récapitule les principales affections rencontrées en captivité et leur traitement.

Tableau 10 : Principaux anti-parasitaires et antibiotiques utilisés sur les écureuils roux en centre de soins (Le Barzic, 2013 ; Blackett, 2017)

Catégorie	Nom	Indications	Posologie	Voie
Anti-parasitaire	Ivermectine (Ivomec®)	Infestation par des nématodes Infestation par des ectoparasites	0,2 à 0,4 mg/kg, tous les 5 à 7 jours	Sous-cutanée
	Pyrantel pamoate	Infestation par des nématodes	50 mg/kg prise unique	Orale
	Fenbendazole (Panacur®)	Infestation par des nématodes	10-25 mg/kg, SID pendant 5 jours	Orale
Antibiotiques	Enrofloxacin (Baytril®)	Aérobies à Gram négatif En particulier : <i>Bordetella bronchiseptica</i> <i>Pasteurella multocida</i> <i>Staphylococcus aureus</i> Après antibiogramme	10 mg/kg, SID	Sous-cutanée, orale
	Triméthoprim - sulfamidés (Bactrim®)	Large spectre Aérobies à Gram négatif et positif	15 mg/kg BID ou 30 mg/kg, SID	Intra-musculaire, sous-cutanée, orale

C. La réhabilitation

La réhabilitation est une préparation à la phase de relâcher. Elle consiste à conditionner ou reconditionner les animaux à la vie sauvage, et passe par l'observation des critères permettant de juger si l'animal est apte à être libéré ou non (Le Barzic, 2013 ; Doussain, 2018).

a. Les critères

Une fois que le jeune a terminé sa phase de croissance et de développement, qu'il est complètement sevré (généralement autour de neuf semaines (Vavasseur, 2020)), et lorsque jeune ou adulte sont guéris de leurs blessures ou maladies, il est temps de se demander si l'animal peut être relâché. Les critères retenus sont les suivants (Le Barzic, 2013 ; Doussain, 2018) :

- une santé correcte, ne nécessitant plus de soin. Il conviendra d'évaluer si l'animal n'est pas porteur sain d'agents pathogènes ;
- une capacité à se déplacer normalement, un développement musculaire permettant la recherche de nourriture et la défense de ressources en autonomie ;
- une capacité à reconnaître, manipuler, consommer et digérer les aliments de son régime alimentaire naturel. L'écureuil roux doit être capable de décortiquer une noisette entière seul ;
- tous ses sens doivent être fonctionnels ;
- un poids vif suffisant pour son âge, son sexe et l'époque de l'année ;
- une fourrure suffisamment développée ;
- une queue intacte ;
- une pleine capacité à interagir avec ses congénères et à se défendre ;
- une capacité à se reproduire sans transmettre d'anomalie congénitale : un individu qui ne se reproduit pas au sein d'une population peut perturber les interactions sociales des autres animaux et utiliser les ressources qui ne seront alors plus disponibles pour les autres. De plus, une femelle présentant une fracture du bassin ne pourra pas survivre à une dystocie dans la nature, elle ne pourra donc pas être relâchée.

La familiarité avec l'homme n'est pas un critère rédhibitoire pour les écureuils car des individus familiers ont pu être relâchés sans par la suite pouvoir être approchés. On veillera seulement à limiter au maximum les contacts pendant la phase de détention des écureuils (Le Barzic, 2013 ; Doussain, 2018).

b. L'évaluation des critères

• Observation des comportements

L'évaluation de ces critères se fait par l'observation des comportements des animaux en comparaison avec les comportements naturels de l'espèce, qui doivent être familiers aux observateurs. L'emploi d'une caméra évite que les comportements ne soient modifiés par la présence humaine, on utilise par défaut d'un système de lucarne qu'on peut soulever par exemple tout en se dissimulant (Doussain, 2018).

- comportements sociaux : on observa les interactions avec les congénères s'il y en a ou avec les soigneurs ;
- comportements alimentaires : on observera les comportements autour de la nourriture ; il sera important de juger si l'animal sait ouvrir les graines seul. Si ce n'est pas le cas, comme en milieu naturel, l'apprentissage de ces techniques passe par la présence d'un adulte ; on pourra placer un écureuil plus expérimenté dans l'habitat sous bonne surveillance car les écureuils roux ne sont pas des animaux sociaux.

- *Quantification alimentaire et condition physique*

La quantité de nourriture présentée et retirée sera pesée afin d'apprécier la prise alimentaire. On notera également la prise de poids. Cela va permettre de savoir si l'alimentation est bien consommée et métabolisée. On rappelle que l'écureuil doit avoir atteint un poids qui corresponde à son âge, son sexe, et la période de l'année (Doussain, 2018).

La condition physique sera également évaluée par la musculature qui doit être assez développée pour permettre les déplacements en milieu naturel et la recherche active de nourriture. Après un temps plus ou moins long de confinement en captivité, les animaux sont souvent amyotrophiés ; il faudra bien vérifier qu'ils présentent un développement musculaire correct avant d'être relâchés. Cela passe par l'observation attentive et la stimulation par des équipements adéquats des déplacements dans les cages de réhabilitation et une palpation de la musculature au cours de l'examen clinique (Doussain, 2018).

- *Santé*

Comme on l'a déjà évoqué, l'animal ne doit plus présenter de signes cliniques. Ensuite il faut s'assurer qu'il est totalement guéri. On va donc procéder à un examen clinique complet afin de s'en assurer. On va également évaluer ses sens en testant la vision, l'ouïe, l'odorat. Un examen oculaire approfondi permet d'éliminer toute anomalie à ce niveau. Dans certains cas on pourra refaire des examens complémentaires de suivi (Doussain, 2018).

Les analyses sanguines ciblées pourront aussi nous indiquer si l'animal est séropositif pour une maladie. Il faudra faire la distinction entre les individus immunisés et les porteurs asymptomatiques et se poser la question de savoir s'il peut tout de même être relâché ou s'il présente un danger pour les populations sauvages (Doussain, 2018). On a l'exemple de l'adénovirus, qui a sans doute été introduit dans certaines populations à partir d'écureuils relâchés dans le cadre de programme de renforcement des populations d'écureuils roux (D. J. Everest *et al.*, 2012b).

Cette évaluation est parfois difficile à faire en pratique. Les centres de soins manquent en effet de moyens et de compétences vétérinaires pour pouvoir faire ses explorations. Bien souvent, les critères de santé s'arrêtent à l'évaluation de l'état général et aux signes cliniques (Vavasseur, 2020).

c. La préparation de l'animal

- **L'habitat**

On rappelle que les conditions de détention des animaux en captivité sont réglementées. Les équipements dédiés à la phase réhabilitation sont constitués par des volières extérieures (Figure 28). L'enrichissement doit permettre à l'écureuil de grimper et d'exprimer au maximum ses comportements naturels. Il doit être sécurisé pour éviter les évasions intempestives, les attaques de prédateurs et les blessures. Des barreaux fins ou du grillage sont conseillés pour qu'il ne puisse pas ronger les parois. Le volume des volières doit être adapté. Celles présentées ci-dessous ont une surface de 20 m², et peuvent être divisées en deux parties selon les besoins. Il faut également prévoir au moins un abri par écureuil, de préférence placé en hauteur. Il est également possible d'aménager une zone pour permettre l'enfouissement de la nourriture (Doussain, 2018).

Figure 28 : Volière extérieure utilisée pour les animaux en cours de réhabilitation
©Béatrice Vavasseur



Les visites de centre de soins sont interdites au public en France. Dans une étude effectuée dans un parc zoologique, on remarque que lorsque les écureuils roux associent l'homme à la nourriture, cela permet d'augmenter la fréquence des rencontres entre les écureuils et les visiteurs du parc. Cet apprentissage n'est absolument pas recherché dans le cadre d'une réhabilitation, tout au contraire. On remarque également que lorsqu'il y a beaucoup de déplacements et de bruits dans le parc, les rencontres entre écureuils et visiteurs sont plus rares (Woolway et Goodenough, 2017). Dans un autre parc, l'étude des déplacements des écureuils a montré qu'ils évitaient la présence humaine, et aucun signe de stress n'a été enregistré par l'analyse des fèces (taux de glucocorticoïdes) (Haigh *et al.*, 2017). En captivité, les écureuils ne peuvent pas s'éloigner de la source de leur stress, c'est aux humains d'essayer de leur procurer un environnement le moins stressant possible. On comprend donc aisément que les visites soient interdites en centre de soins. Il faudra également veiller à rendre l'environnement le plus calme possible et à réduire au maximum les allers et venues.

- *Alimentation*

A cette étape, il faudra le plus possible tendre vers une alimentation qui soit la plus proche possible de ce que l'écureuil trouve dans la nature. L'eau devra être proposée dans un bol et non plus dans un biberon. Il est conseillé de varier les aliments, puisque les ressources naturelles ne sont pas toutes les mêmes tout au long de l'année. On pourra laisser des noisettes, des pommes de pin, des fruits et des légumes à disposition, comme nous l'avons déjà évoqué dans la partie alimentation (Doussain, 2018).

D. Le relâcher

a. Choix du site

Le site du relâcher doit être minutieusement choisi. On pourra se baser sur plusieurs critères (Le Barzic, 2013 ; Doussain, 2018).

- Les ressources et le type d'habitat : le lieu sélectionné doit pouvoir fournir de la nourriture adaptée en quantité comme en qualité. Les forêts de conifères sont à privilégier car elles sont les plus adaptées pour l'espèce. On va aussi privilégier les forêts en polyculture, contenant des arbres d'âges différents afin de diversifier les ressources disponibles et ce tout au long de l'année. Les conifères qui sont utilisés par les écureuils sont ceux qui ont atteint leur maturité et donc produisent des cônes. L'âge à partir duquel ils commencent leur production cônes dépend de l'essence (15 ans pour le pin sylvestre, 25-30 ans pour le pin corse) (Gurnell *et al.*, 2002). Il a été montré également que les écureuils roux, une fois relâchés, recherchent en priorité un habitat similaire à celui qu'ils ont déjà expérimenté. Si l'écureuil n'a passé que très peu de temps en captivité, il faudra essayer de relâcher sur le lieu où il a été prélevé, ou si ce n'est pas possible, dans un habitat où les mêmes essences d'arbres sont présentes (Kenward et Hodder, 1998).
- Les populations présentes sur place : les habitats qui n'ont jamais connu d'écureuils roux ne sont évidemment pas de bons biotopes pour relâcher un membre de cette espèce, ni un habitat avec une forte densité d'écureuils roux. Il faudra privilégier les habitats intermédiaires en termes de densité de population. Sur les territoires où il est déjà présent, et quand il le sera en France, on veillera au mieux à ne pas relâcher des écureuils roux dans les zones où l'écureuil gris est installé (Kenward et Hodder, 1998). Des caméras pourront être placées dans les lieux potentiellement intéressants, afin d'apprécier la population d'écureuils en place et les prédateurs présents (Vavasseur, 2020).
- La distance aux axes routiers : les accidents routiers sont une cause très importante de mortalité. Il ne faudra pas choisir un lieu situé à moins de 2 kilomètres d'un grand axe routier.

b. Choix du moment

Plusieurs auteurs s'accordent à dire que le moment de l'année à privilégier pour relâcher les écureuils roux se situe entre août et novembre, soit la période de dispersion des jeunes. Ce moment est propice car il y a une réorganisation sociale qui donne plus d'opportunités à l'individu relâché de trouver un domaine vital (Le Barzic, 2013 ; Blackett, 2017 ; Doussain, 2018). De plus, les conditions

climatiques sont favorables et les ressources disponibles (Le Barzic, 2013). D'après une étude, le taux de survie des écureuils était meilleur pour ceux relâchés en septembre et octobre (77,8 %) que ceux relâchés en décembre (50 %) (Poole et Lawton, 2009).

L'écureuil étant diurne, le meilleur moment de la journée pour le relâcher est très tôt le matin, afin que l'individu puisse trouver ou fabriquer un abri pour la nuit (S. J. Casey, 2011 ; Doussain, 2018).

c. Le transport

Le transport d'animaux sauvages est réglementé en France d'après la circulaire du 12 juillet 2004 relative au suivi des activités des centres de soins. Il est nécessaire pour chaque centre de présenter une demande de transport valable pour une durée de cinq ans, pour chaque département où des animaux sont susceptibles d'être recueillis ou relâchés. La préfecture de chaque département doit recevoir cette demande, avec la liste des espèces concernées, la liste des départements, la description des activités envisagées, la description des conditions de transport et les conditions de relâcher. Le centre s'engage aussi à fournir un bilan annuel de ses activités (Doussain, 2018).

Le transport est ensuite autorisé entre le lieu de découverte et le centre, entre le centre et une clinique vétérinaire, entre deux centres de sauvegardes, entre le centre et le lieu de relâcher et pour les animaux décédés, du centre vers un lieu d'autopsie ou de destruction des cadavres (Doussain, 2018).

On rappelle qu'une exception est faite pour un particulier, qui a le droit de transporter un animal sauvage blessé vers un centre de soins, par le trajet le plus court et dans les plus brefs délais (Doussain, 2018).

Le transport est un moment de stress pour l'animal. Il faudra tout mettre en œuvre pour le limiter, car l'agitation engendrée par le stress pourra mener à des blessures. On placera une couverture pour recouvrir la cage de transport, afin de limiter les *stimuli* visuels. On veillera à utiliser une cage sécurisée qui ne peut être rongée par l'écureuil. On privilégiera les cages en métal ou en grillage, le carton et le bois n'étant pas adaptés. Une couverture au fond de la cage augmentera le confort et évitera à l'animal de glisser (Doussain, 2018).

d. Les méthodes

- *Le soft-release ou relâcher progressif*

Le soft-release consiste en une réintroduction progressive dans le milieu naturel, avec un temps d'habituation sur le site même du relâcher. On installe un enclos sur le lieu choisi, pour que l'animal s'adapte aux bruits, à la température, au climat local. Cet enclos est similaire à celui que l'écureuil a connu au centre de soins pendant la phase de préparation au relâcher. On le place préférentiellement en hauteur pour limiter les risques de prédation. Il n'y a plus aucun contact avec l'homme à cette étape et on limite également le contact visuel en apportant la nourriture par un système de trappe. Celle-ci doit correspondre le plus possible à celle que l'écureuil pourra retrouver sur ce lieu de relâcher. Au bout de trois ou quatre semaines, à juger en fonction de l'attitude de l'écureuil, on ouvre la porte de l'enclos, en principe la nuit afin de limiter tout stress. La nourriture continue d'être apportée et l'enclos permet à l'écureuil de trouver un abri tant qu'il le souhaite. On le retire une fois qu'il ne revient plus (Le Barzic, 2013 ; Doussain, 2018).

Cette méthode est celle à privilégier pour les écureuils roux et convient parfaitement pour les individus qui ont été élevés à la main ou qui ont besoin d'un temps d'adaptation plus long (Doussain, 2018).

- *Le hard-release ou relâcher direct*

Avec cette méthode, aucune adaptation n'est effectuée : les animaux sont directement relâchés dans la nature. On place éventuellement un nid artificiel en hauteur pour qu'ils puissent trouver un abri. On peut également fournir de l'eau et de la nourriture pendant un temps pour faire une transition un peu plus douce avec la vie sauvage (Doussain, 2018).

Cette méthode est à utiliser uniquement lorsque l'écureuil n'a passé que très peu de temps en captivité. Si on sait où il a été trouvé, le mieux est de le relâcher à cet endroit à condition qu'il soit satisfaisant pour l'espèce (Doussain, 2018).

Grâce à des études qui ont suivi des écureuils roux réintroduits dans la nature par ces deux méthodes, le taux de survie s'avère globalement plus élevé pour les animaux (subadultes et adultes) relâchés par « soft-release » que par « hard-release ». En effet, parmi 19 écureuils relâchés par « hard-release », le taux survie au bout d'un mois un mois était de 63 %. A la période de reproduction, il restait 42 % des animaux, soit entre deux et six mois après le relâcher, les écureuils ayant été relâchés sur toute l'année (février 1987, septembre 1987 et janvier 1988) (Wauters *et al.*, 1997). Lors d'une autre étude, le suivi par collier radio-émetteurs des animaux relâchés entre août 2006 et décembre 2006 par « soft-release » a montré un taux de survie au moment de la période de reproduction (entre trois et six mois après le relâcher) de 68,4 % (Poole et Lawton, 2009).

Conclusion

Les connaissances que nous apporte l'étude de la biologie de l'écureuil roux nous permet de mieux comprendre les conséquences dramatiques d'origine anthropiques que sont la fragmentation et la destruction de son habitat naturel, la présence de prédateurs domestiques comme le chat et l'introduction d'espèces non endémiques et envahissantes à l'instar de l'écureuil gris. En premier lieu, une gestion raisonnée et adaptée des forêts visant à préserver leurs biotopes préférentiels s'avère primordiale. L'anticipation de l'expansion de l'écureuil gris et la mise en place de mesures précoces pour éviter son installation en France seront également primordiales. Enfin l'information du grand public tient également une place très importante, tant par le soutien qu'il pourra accorder aux mesures proposées en connaissance de cause que pour la prévention des introductions intempestives d'espèces envahissantes. D'autres solutions, nécessitent des recherches approfondies et pourraient également participer au maintien de la population d'écureuils roux.

Les centres de soins prennent une place majeure dans la conservation de cette espèce. Les connaissances de l'histoire naturelle de l'espèce permettent d'améliorer les conditions de leur prise en charge et de leur réhabilitation en vue du relâcher en nature. Au moment du relâcher, certains points seront très importants à prendre en compte pour que cette remise en liberté se fasse dans le respect de l'animal relâché et des populations présentes localement. Le recours aux ressources locales notamment aux associations naturalistes peut permettre de sélectionner les biotopes les plus appropriés. Les vétérinaires ont une place importante à occuper dans le domaine de la conservation en s'intéressant à la pathologie de cette espèce et notamment à l'émergence de nouvelles maladies. Ils peuvent pleinement jouer un rôle dans la sensibilisation du grand public en informant leur clientèle sur la faune sauvage locale.

En France, les connaissances acquises par les différents centres de soins ne sont pas centralisées. Il serait intéressant qu'à l'avenir, ces compétences empiriques et scientifiques puissent être mises en commun et discutées. Chacun pourrait enrichir son expérience de celle des autres et éviter de commettre certaines erreurs. Cela permettrait aussi à ces structures, de davantage se faire connaître pour obtenir les fonds nécessaires à leur fonctionnement. Ainsi, la conservation globale de l'écureuil roux pourrait évoluer plus favorablement avec leur soutien.

Liste des références bibliographiques

- ABENDROTH B., HÖPER D., ULRICH R.G., LARRES G., BEER M. (2017) A red squirrel associated adenovirus identified by a combined microarray and deep sequencing approach. *Arch. Virol.* 162(10), 3167-3172
- AMORI G., ALOISE G., LUISELLI L. (2014) Modern analyses on an historical data set: skull morphology of Italian red squirrel populations. *ZooKeys* n°368, 79-89
- ATKIN J.W., RADFORD A.D., COYNE K.P., STAVISKY J., CHANTREY J. (2010) Detection of squirrel poxvirus by nested and real-time PCR from red (*Sciurus vulgaris*) and grey (*Sciurus carolinensis*) squirrels. *BMC Vet. Res.* 6(33)
- AVANZI C., DEL-POZO J., BENJAK A., *et al.* (2016) Red squirrels in the British Isles are infected with leprosy bacilli. *Science* 354(6313), 744-747
- BARBAULT R., LEBRETON J.-D. (2020) Populations animales (Dynamique des). In *Encyclopædia Universalis*. [<https://www.universalis.fr/encyclopedie/animal-dynamique-des-populations/>] (consulté le 24/06/2020).
- BENKMAN C.W., PARCHMAN T.L. (2009) Coevolution between crossbills and black pine: the importance of competitors, forest area and resource stability. *J. Evol. Biol.* 22(5), 942-953
- BERGMAN-ALTHOUSE L. (2011) Anything – Everything Squirrel. In *The Wildlife Center of Virginia*. [https://www.wildlifecenter.org/sites/default/files/wp/wp-content/uploads/2011/10/Anything-and-Everything-Squirrel_0.pdf] (consulté le 16/05/2020).
- BERTOLINO S., WAUTERS L.A., DE BRUYN L., CANESTRI-TROTTI G. (2003) Prevalence of coccidia parasites (Protozoa) in red squirrels (*Sciurus vulgaris*): effects of host phenotype and environmental factors. *Oecologia* 137(2), 286-295
- BERTOLINO S., MONTEZEMOLO N., PREATONI D., WAUTERS L.A., MARTINOLI A. (2013) A grey future for Europe: *Sciurus carolinensis* is replacing native red squirrels in Italy. *Biol. Invasions* 16
- BERTOLINO S., GENOVESI P. (2003) Spread and attempted eradication of the grey squirrel (*Sciurus carolinensis*) in Italy, and consequences for the red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in Eurasia. *Biol. Conserv.* 109(3), 351-358
- BLACKETT T. (2017) Squirrels. In *BSAVA Manual of Wildlife Casualties*, Eds Mullineaux E., Keeble E., 2^e ed. Cheltenham, Wiley, pp 137-151
- BLACKETT T.A., SIMPSON V.R., HAUGLAND S., *et al.* (2018) Mortalities, amyloidosis and other diseases in free-living red squirrels (*Sciurus vulgaris*) on Jersey, Channel Islands. *Vet. Rec.* 183(16), 503
- BLANGA-KANFI S., MIRANDA H., PENN O., *et al.* (2009) Rodent phylogeny revised: analysis of six nuclear genes from all major rodent clades. *BMC Evol. Biol.* 9(1), 71
- BOWN K.J., ELLIS B.A., BIRTLES R.J., *et al.* (2002) New world origins for haemoparasites infecting United Kingdom grey squirrels (*Sciurus carolinensis*), as revealed by phylogenetic analysis of bartonella infecting squirrel populations in England and the United States. *Epidemiol. Infect.* 129(3), 647-653
- BROOKS F., WOOD A.R., THOMSON J., *et al.* (2014) Preliminary characterisation of Pentlands paramyxovirus-1, -2 and -3, three new paramyxoviruses of rodents. *Vet. Microbiol.* 170(3-4), 391-397
- CARROLL B., RUSSELL P., GURNELL J., NETTLETON P., SAINSBURY A.W. (2009) Epidemics of squirrelpox virus disease in red squirrels (*Sciurus vulgaris*): temporal and serological findings. *Epidemiol. Infect.* 137(2), 257-265
- CASEY A.M. (2002) Mammal nutrition - how cookbooks can be harmful. *Wildl. Rehabil.* 19, 101-109
- CASEY A.M. (2003) Selection and Use of Commercially Available Rodent Chow Products. In *Resources and Tools for Wildlife Rehabilitators*. [<http://www.ewildagain.org/assets/rodent-chow-article-from-sq-manual.pdf>] (consulté le 03/05/2020).

- CASEY S.J. (2011) Utilizing Squirrel Natural History in Rehabilitation Decisions. *In Resources and Tools for Wildlife Rehabilitators*. [<http://www.ewildagain.org/squirrelnaturalhistory.html>] (consulté le 16/04/2020).
- CASEY A.M. (2011) Considerations and Plans for Indoor Cages for Squirrels. *In Resources and Tools for Wildlife Rehabilitators*. [<http://www.ewildagain.org/assets/indoorsquirrelcages.pdf>] (consulté le 16/04/2020).
- CASEY S.J. (2020a) Nutrition Considerations in Wildlife Rehabilitation. *In Resources and Tools for Wildlife Rehabilitators*. [<http://www.ewildagain.org/nutrition.html>] (consulté le 17/05/2020).
- CASEY A.M. (2020) Increasing bioavailability of nutrients in powdered milk formulas by 5 to 15%. *In Resources and Tools for Wildlife Rehabilitators*. [<http://www.ewildagain.org/assets/finalnyswrcmeasurementfeb25.pdf>] (consulté le 03/05/2020).
- CASEY S.J. (2020b) A 'Fussy Eater', or Possibly Rancid Food? *In Resources and Tools for Wildlife Rehabilitators*. [<http://www.ewildagain.org/assets/wildlifeeatingrancidfood.pdf>] (consulté le 03/05/2020).
- CASEY A.M., CASEY S.J. (2012) Solubility Issues with Milk Replacer Powders— An Easy Fix. *In Resources and Tools for Wildlife Rehabilitators*. [<http://www.ewildagain.org/assets/solubilityissuesmilkreplacers.pdf>] (consulté le 03/05/2020).
- CASEY A.M., CASEY S.J. (2020) Substitute milk formulas - what went wrong in 2019 ? *In Resources and Tools for Wildlife Rehabilitators*. [<http://www.ewildagain.org/assets/finalformulaissuesnyswrcfeb25.pdf>] (consulté le 04/05/2020).
- CASEY S.J., GOLDTHWAIT M. (2010) Bordetella in Squirrels. *In Resources and Tools for Wildlife Rehabilitators*. [<http://www.ewildagain.org/assets/bordetellainsquirrels-10.pdf>] (consulté le 16/04/2020).
- CASEY S.J., GOLDTHWAIT M. (2011a) Twelve Common Causes of Stool Problems in Squirrels. *In Resources and Tools for Wildlife Rehabilitators*. [<http://www.ewildagain.org/assets/stoolproblemssquirrels.pdf>] (consulté le 16/04/2020).
- CASEY S.J., GOLDTHWAIT M. (2011b) Aspiration in Juvenile Squirrels: Etiologies, Treatments, Prevention. *In Resources and Tools for Wildlife Rehabilitators*. [<http://www.ewildagain.org/assets/aspirationinsquirrels.pdf>] (consulté le 16/04/2020).
- CASEY S.J., GOLDTHWAIT M. (2012) Factors Causing Gastrointestinal Problems in Juvenile Wild Mammals in Rehabilitation. *In Resources and Tools for Wildlife Rehabilitators*. [<http://www.ewildagain.org/assets/factorsaffectmammalgi.pdf>] (consulté le 16/04/2020).
- CASEY S.J., GOLDTHWAIT M. (2013) When pets attack wildlife Part 2: What to do. *In Resources and Tools for Wildlife Rehabilitators*. [<http://www.ewildagain.org/whenpetsattackwildlife.html>] (consulté le 01/02/2020).
- CHANTREY J., DALE T.D., READ J.M., *et al.* (2014) European red squirrel population dynamics driven by squirrelpox at a gray squirrel invasion interface. *Ecol. Evol.* 4(19), 3788-3799
- CHAPUIS J.-L., DOZIÈRES A., PINASU B. (2012) Les écureuils en France. *In Les écureuils en France* Paris, Muséum National d'Histoire Naturelle. [<https://ecureuils.mnhn.fr/>] (consulté le 02/04/2020).
- CHAPUIS J.-L., MARMET J. (2006) Ecureuils d'Europe occidentale : Fiches descriptives, Paris, Muséum National d'Histoire Naturelle.
- CHOE S., LEE D., PARK H., *et al.* (2016) Catenotaenia dendritica (Cestoda: Catenotaeniidae) and Three Ectoparasite Species in the Red Squirrel, *Sciurus vulgaris*, from Cheongju, Korea. *Korean J. Parasitol.* 54(4), 509-518
- COLLINS L.M., WARNOCK N.D., TOSH D.G., *et al.* (2014) Squirrelpox Virus: Assessing Prevalence, Transmission and Environmental Degradation. *PLoS ONE* 9(2)
- COX P.G., RAYFIELD E.J., FAGAN M.J., *et al.* (2012) Functional evolution of the feeding system in rodents. *PloS One* 7(4)
- CUMMINS M. (2004) California Ground Squirrel Rehabilitation. *In Animal Advocates*. [<http://www.animaladvocates.us/cgsmanual.pdf>] (consulté le 16/04/2020).

- DANTZER B., SANTICCHIA F., VAN KESTEREN F., *et al.* (2016) Measurement of fecal glucocorticoid metabolite levels in Eurasian red squirrels (*Sciurus vulgaris*): effects of captivity, sex, reproductive condition, and season. *J. Mammal.* 97(5), 1385-1398
- DARBY A.C., MCINNES C.J., KJÆR K.H., *et al.* (2014) Novel Host-Related Virulence Factors Are Encoded by Squirrelpox Virus, the Main Causative Agent of Epidemic Disease in Red Squirrels in the UK. *PLoS ONE* 9(7)
- DAUSMANN K.H., WEIN J., TURNER J.M., GLOS J. (2013) Absence of heterothermy in the European red squirrel (*Sciurus vulgaris*). *Mamm. Biol.* 78(5), 332-335
- DIPINETO L., GARGIULO A., CUOMO A., *et al.* (2009) Campylobacter jejuni in the red squirrel (*Sciurus vulgaris*) population of Southern Italy. *Vet. J. Lond. Engl.* 1997 179(1), 149-150
- DOUSSAIN M. (2018) Réhabilitation et relâcher des animaux sauvages après un séjour en centre de sauvegarde. Thèse Méd. Vét. École nationale vétérinaire d'Alfort
- DOZIÈRES A., CHAPUIS J.-L., THIBAUT S., BAUDRY E. (2012) Genetic structure of the French red squirrel populations: implication for conservation. *PloS One* 7(10)
- DUFF J.P., HIGGINS R., FARRELLY S. (2007) Enteric adenovirus infection in a red squirrel (*Sciurus vulgaris*). *Vet. Rec.* 160(11), 384-384
- DUFF J.P., HALEY P., WOOD R., HIGGINS R.J. (2010) Causes of red squirrel (*Sciurus vulgaris*) mortality in England. *Vet. Rec.* 167(12), 461-461
- ERCOLI M.D., ÁLVAREZ A., CANDELA A.M. (2019) Sciuromorphy outside rodents reveals an ecomorphological convergence between squirrels and extinct South American ungulates. *Commun. Biol.* 2(1), 202
- EVEREST D. J., GRIERSON S. S., MEREDITH A. L., MILNE E. M. (2010a) Adenovirus in a red squirrel (*Sciurus vulgaris*) from Scotland. *Vet. Rec.* 167(5), 184
- EVEREST D. J., GRIFFIN J., WARNOCK N. D., *et al.* (2012a) Adenovirus particles from a wild red squirrel (*Sciurus vulgaris*) from Northern Ireland. *Vet. Rec.* 170(7), 188
- EVEREST D. J., STIDWORTHY M.F., MILNE E.M., *et al.* (2010b) Retrospective detection by negative contrast electron microscopy of faecal viral particles in free-living wild red squirrels (*Sciurus vulgaris*) with suspected enteropathy in Great Britain. *Vet. Rec.* 167(26), 1007-1010
- EVEREST D. J., SHUTTLEWORTH C.M., GRIERSON S.S., *et al.* (2012b) Systematic assessment of the impact of adenovirus infection on a captive reintroduction project for red squirrels (*Sciurus vulgaris*). *Vet. Rec.* 171(7), 176
- EVEREST D.J., DASTJERDI A., GURRALA R., *et al.* (2009) Rotavirus in red squirrels from Scotland. *Vet. Rec.* 165(15), 450
- EVEREST D. J., DUFF J. P., HIGGINS R. J. (2011) Rotavirus in a wild English red squirrel (*Sciurus vulgaris*) identified by electron microscopy. *Vet. Rec.* 169(6), 160
- EVEREST D. J., SHUTTLEWORTH C. M., GRIERSON S. S., *et al.* (2018) The implications of significant adenovirus infection in UK captive red squirrel (*Sciurus vulgaris*) collections: How histological screening can aid applied conservation management. *Mamm. Biol.* 88, 123-129
- FIEGNA C., DAGLEISH M.P., COULTER L., *et al.* (2016) Host-pathogen dynamics of squirrelpox virus infection in red squirrels (*Sciurus vulgaris*). *Vet. Microbiol.* 182, 18-27
- FUKUI D., BANDO G., KOSUGE M., *et al.* (2002) Malignant melanoma of the eyelid in a red squirrel (*Sciurus vulgaris orientis*). *J. Vet. Med. Sci.* 64(3), 261-264
- GARRIGA R.M., SAINSBURY A.W., GOODSHIP A.E. (2004) Bone assessment of free-living red squirrels (*Sciurus vulgaris*) from the United Kingdom. *J. Wildl. Dis.* 40(3), 515-522
- GRILL A., AMORI G., ALOISE G., *et al.* (2009) Molecular phylogeography of European *Sciurus vulgaris*: refuge within refugia? *Mol. Ecol.* 18(12), 2687-2699
- GURNELL J., CLARK M.J., W.W. LURZ P., SHIRLEY M.D.F., RUSHTON S.P. (2002) Conserving red squirrels (*Sciurus vulgaris*): mapping and forecasting habitat suitability using a Geographic Information Systems Approach. *Biol. Conserv.* 105(1), 53-64
- GURNELL J., WAUTERS L.A., LURZ P.W.W., TOSI G. (2004) Alien species and interspecific competition: effects of introduced eastern grey squirrels on red squirrel population dynamics. *J. Anim. Ecol.* 73(1), 26-35
- HAIGH A., BUTLER F., O'RIORDAN R., PALME R. (2017) Managed parks as a refuge for the threatened red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in light of human disturbance. *Biol. Conserv.* 211, 29-36

- HALE M.L. (2001) Impact of Landscape Management on the Genetic Structure of Red Squirrel Populations. *Science* 293(5538), 2246-2248
- HALE M.L., LURZ P.W.W. (2003) Morphological changes in a British mammal as a result of introductions and changes in landscape management: the red squirrel (*Sciurus vulgaris*). *J. Zool.* 260(2), 159-167
- HÄMÄLÄINEN S., FEY K., SELONEN V. (2019) The effect of landscape structure on dispersal distances of the Eurasian red squirrel. *Ecol. Evol.* 9(3), 1173-1181
- HARDOUIN E.A., BALTAZAR-SOARES M., SCHILLING A.-K., *et al.* (2019) Conservation of genetic uniqueness in remaining populations of red squirrels (*Sciurus vulgaris* L.) in the South of England. *Ecol. Evol.* 9(11), 6547-6558
- HOFMANNOVÁ L., ROMEO C., ŠTOHANZLOVÁ L., *et al.* (2016) Diversity and host specificity of coccidia (Apicomplexa: Eimeriidae) in native and introduced squirrel species. *Eur. J. Protistol.* 56
- HOLMES P., EVEREST D.J., SPIRO S., WESSELS M., SHUTTLEWORTH C. (2019) First report of dermatophilosis in wild European red squirrels (*Sciurus vulgaris*). *Vet. Rec. Case Rep.* 7(3)
- HUMAIR P.F., GERN L. (1998) Relationship between *Borrelia burgdorferi sensu lato* species, red squirrels (*Sciurus vulgaris*) and *Ixodes ricinus* in enzootic areas in Switzerland. *Acta Trop.* 69(3), 213-227
- ISSACS P. (2002) Building Squirrel Boxes. *J. Wildl. Rehabil.* 25(1), 20-23
- JOKELAINEN P., NYLUND M. (2012) Acute fatal toxoplasmosis in three Eurasian red squirrels (*Sciurus vulgaris*) caused by genotype II of *Toxoplasma gondii*. *J. Wildl. Dis.* 48(2), 454-457
- KENWARD R.E., HODDER K.H., ROSE R.J., *et al.* (1998) Comparative demography of red squirrels (*Sciurus vulgaris*) and grey squirrels (*Sciurus carolinensis*) in deciduous and conifer woodland. *J. Zool.* 244(1), 7-21
- KENWARD R.E., HODDER K.H. (1998) Red squirrels (*Sciurus vulgaris*) released in conifer woodland: the effects of source habitat, predation and interactions with grey squirrels (*Sciurus carolinensis*). *J. Zool.* 244(1), 23-32
- KENWARD R.E., HOLM J.L. (1993) On the replacement of the red squirrel in Britain: a phytotoxic explanation. *Proc. Biol. Sci.* 251(1332), 187-194
- KIK M., IJZER J., OPSTEEGH M., *et al.* (2015) *Toxoplasma gondii* in Wild Red Squirrels, the Netherlands, 2014. *Emerg. Infect. Dis.* 21(12), 2248-2249
- KRAUZE-GRYZ D., GRYZ J. (2015) A review of the diet of the red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in different types of habitats. In *Red Squirrels: Ecology, Conservation & Management in Europe.*, Eds Shuttleworth C.M., Lurz P.W.W., Hayward M.W. Stoneleigh Park, European Squirrel Initiative, pp 39-50
- KVÁC M., HOFMANNOVÁ L., BERTOLINO S., *et al.* (2008) Natural infection with two genotypes of *Cryptosporidium* in red squirrels (*Sciurus vulgaris*) in Italy. *Folia Parasitol. (Praha)* 55(2), 95-99
- LAGUET S. (2012) L'écureuil roux (*Sciurus vulgaris*, Linnaeus, 1758) en forêt de montagne dans les Alpes françaises (Savoie) : Morphologie, abondance et utilisation de l'espace. Mémoire pour l'obtention du diplôme de l'École Pratique des Hautes Études, Paris.
- LAROSE J.P., MEREDITH A.L., EVEREST D.J., *et al.* (2010) Epidemiological and postmortem findings in 262 red squirrels (*Sciurus vulgaris*) in Scotland, 2005 to 2009. *Vet. Rec.* 167(8), 297-302
- LAROUSSE (2020a) Biologie. In *Dictionnaire Larousse*. [<http://larousse.fr>] (consulté le 06/06/2020).
- LAROUSSE (2020b) Réservoir. In *Dictionnaire Larousse*. [<http://larousse.fr>] (consulté le 06/06/2020).
- LE BARZIC C. (2013) Prise en charge des jeunes mammifères de la faune sauvage européenne dans les centres de soins français. Thèse Méd. Vét. École nationale vétérinaire d'Alfort
- LIPATOVA I., RAZANSKE I., JURGELEVICIUS V., PAULAUSKAS A. (2020) Bartonella washoensis infection in red squirrels (*Sciurus vulgaris*) and their ectoparasites in Lithuania. *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.* 68
- LONGRU J., HE H.S., YUFEI Z., RENCANG B., KEPING S. (2010) Assessing the effects of management alternatives on habitat suitability in a forested landscape of northeastern China. *Environ. Manage.* 45(5), 1191-1200

- LOUARN H.L., QUÉRÉ J.-P. (2011) Les rongeurs de France : Faunistique et biologie, 3^e ed, *Guide pratique*. Paris, Quae
- LPO FRANCE, DUGUÉ A.-L., CARBON C. (2020) Responsabiliser les propriétaires de chat pour mieux protéger la petite faune sauvage. In *LPO Agir pour la biodiversité*. [<https://www.lpo.fr/communiqués-de-presse/responsabiliser-les-propriétaires-de-chat-pour-mieux-protéger-la-petite-faune-sauvage-dp11>] (consulté le 28/06/2020).
- LURZ P.W.W., RUSHTON S.P., WAUTERS L.A., *et al.* (2001) Predicting grey squirrel expansion in North Italy: a spatially explicit modelling approach. *Landsc. Ecol.* 16(5), 407-420
- LURZ P.W.W., GURNELL J., MAGRIS L. (2005) *Sciurus vulgaris*. *Mamm. Species* n°769, 1-10
- MARTÍNEZ-JIMÉNEZ D., GRAHAM D., COUPER D., *et al.* (2011) Epizootiology and pathologic findings associated with a newly described adenovirus in the red squirrel, *Sciurus vulgaris*. *J. Wildl. Dis.* 47(2), 442-454
- MAYLE B.A., FERRYMAN M., PEACE A., *et al.* (2013) The use of DiazaCon™ to limit fertility by reducing serum cholesterol in female grey squirrels, *Sciurus carolinensis*. *Pest Manag. Sci.* 69(3), 414-424
- MAZZAMUTO M., BISI F., WAUTERS L.A., PREATONI D., MARTINOLI A. (2016) Interspecific competition between alien Pallas's squirrels and Eurasian red squirrels reduces density of the native species. *Biol. Invasions* , 723-735
- MAZZAMUTO M.V., MORANDINI M., PANZERI M., *et al.* (2017) Space invaders: effects of invasive alien Pallas's squirrel on home range and body mass of native red squirrel. *Biol. Invasions* 19(6), 1863-1877
- MCGOWAN N.E., MARKS N.J., MCINNES C.J., *et al.* (2014) Effects of parasitism and morphology on squirrelpox virus seroprevalence in grey squirrels (*Sciurus carolinensis*). *PLoS One* 9(1)
- MCINNES C.J., WOOD A.R., THOMAS K., *et al.* (2006) Genomic characterization of a novel poxvirus contributing to the decline of the red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in the UK. *J. Gen. Virol.* 87(Pt 8), 2115-2125
- MCINNES C.J., COULTER L., DAGLEISH M.P., *et al.* (2009) First cases of squirrelpox in red squirrels (*Sciurus vulgaris*) in Scotland. *Vet. Rec.* 164(17), 528-531
- MEZQUIDA E.T., BENKMAN C.W. (2005) The geographic selection mosaic for squirrels, crossbills and Aleppo pine. *J. Evol. Biol.* 18(2), 348-357
- MEZQUIDA E.T., BENKMAN C.W. (2010) Habitat area and structure affect the impact of seed predators and the potential for coevolutionary arms races. *Ecology* 91(3), 802-814
- MILLER E.A. (2019) Natural History and Medical Management of Squirrels and Other Rodents. In *Medical Management of Wildlife Species*. Hoboken, John Wiley & Sons, Ltd, pp 167-184
- MOUTOU F. (2018) Pathologies infectieuses associées aux écureuils. *Dépêche Tech* n°163, 23-25
- MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE (2003) Espèces Exotiques Envahissantes. In *Inventaire National du Patrimoine*. [<https://inpn.mnhn.fr/programme/especes-exotiques-envahissantes?lg=fr>] (consulté le 27/06/2020).
- NYANGABABO J.T. (2001) Trace metal concentrations in squirrel (*Sciurus vulgaris*) and black rat (*Rattus muridae*) inhabiting roadside ecosystem. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 66(6), 714-718
- OBON E., JUAN-SALLÉS C., MCINNES C.J., EVEREST D.J. (2011) Poxvirus identified in a red squirrel (*Sciurus vulgaris*) from Spain. *Vet. Rec.* 168(3), 86
- OSHIDA T., MASUDA R. (2000) Phylogeny and zoogeography of six squirrel species of the genus *Sciurus* (mammalia, rodentia), inferred from cytochrome B gene sequences. *Zoolog. Sci.* 17(3), 405-409
- PARC DES ECRINS (2016) Au Freney d'oisans, les écoliers collectent et analysent les indices. In *Parc national des Ecrins*. [<http://www.ecrins-parcnational.fr/ungardeuneclasse/freney-oisans-ecoliers-collectent-analysent-indices>] (consulté le 18/05/2020).
- PETERS M., VIDOVSZKY M.Z., HARRACH B., *et al.* (2011) Squirrel adenovirus type 1 in red squirrels (*Sciurus vulgaris*) in Germany. *Vet. Rec.* 169(7), 182
- PETTY S.J., LURZ P.W.W., RUSHTON S.P. (2003) Predation of red squirrels by northern goshawks in a conifer forest in northern England: can this limit squirrel numbers and create a conservation dilemma? *Biol. Conserv.* 111(1), 105-114

- PISANU B., CHAPUIS J.-L., DOZIÈRES A., *et al.* (2014) High prevalence of *Borrelia burgdorferi* s.l. in the European red squirrel *Sciurus vulgaris* in France. *Ticks Tick-Borne Dis.* 5
- POLO-CAVIA N., VÁZQUEZ Z., DE MIGUEL F.J. (2015) Asymmetry in food handling behavior of a tree-dwelling rodent (*Sciurus vulgaris*). *PloS One* 10(2)
- POOLE A., LAWTON C. (2009) The translocation and post release settlement of red squirrels *Sciurus vulgaris* to a previously uninhabited woodland. *Biodivers. Conserv.* 18, 3205-3218
- PREDIGER J., HORČÍČKOVÁ M., HOFMANNOVÁ L., *et al.* (2017) Native and introduced squirrels in Italy host different *Cryptosporidium* spp. *Eur. J. Protistol.* 61, 64-75
- PRESCOTT J. (1983) Le transport des jeunes chez les Sciuridés: un comportement adapté au mode de vie. *Mammalia* 47(2), 179-182
- RANDLER C. (2006) Anti-predator response of Eurasian red squirrels (*Sciurus vulgaris*) to predator calls of tawny owls (*Strix aluco*). *Mamm. Biol.* 71(5), 315-318
- RÉSEAU CENTRES DE SOINS FAUNE SAUVAGE (2020) Annuaire des centres de soins pour la faune sauvage en France. In *Le réseau des centres de soins de la faune sauvage en France*. [<https://www.reseau-soins-faune-sauvage.com/wp-content/uploads/2020/06/annuaire-des-centres-de-soins-actualis%C3%A9-1.pdf>] (consulté le 20/07/2020).
- RILEY J., BARRON H. (2016) Wildlife Emergency and Critical Care. *Veterin Clin North Am Exot. Anim Pr.* 19(2), 613-626
- RIMA P.C., CAGNIN M., ALOISE G., PREATONI D., WAUTERS L.A. (2010) Scale-dependent environmental variables affecting red squirrel (*Sciurus vulgaris meridionalis*) distribution. *Ital. J. Zool.* 77(1), 92-101
- ROMEO C., PISANU B., FERRARI N., *et al.* (2013) Macroparasite community of the Eurasian red squirrel (*Sciurus vulgaris*): poor species richness and diversity. *Parasitol. Res.* 112(10), 3527-3536
- ROMEO C., WAUTERS L.A., FERRARI N., *et al.* (2014) Macroparasite fauna of alien grey squirrels (*Sciurus carolinensis*): composition, variability and implications for native species. *PloS One* 9(2)
- ROMEO C., FERRARI N., LANFRANCHI P., *et al.* (2015) Biodiversity threats from outside to inside: effects of alien grey squirrel (*Sciurus carolinensis*) on helminth community of native red squirrel (*Sciurus vulgaris*). *Parasitol. Res.* 114(7), 2621-2628
- RONG K., YANG H., MA J., ZONG C., CAI T. (2013) Food availability and animal space use both determine cache density of Eurasian red squirrels. *PloS One* 8(11)
- RUSHTON S.P., LURZ P.W.W., GURNELL J., *et al.* (2006) Disease threats posed by alien species: the role of a poxvirus in the decline of the native red squirrel in Britain. *Epidemiol. Infect.* 134(3), 521-533
- SAINSBURY A.W., KOUNTOURI A., DUBOULAY G., KERTESZ P. (2004) Oral disease in free-living red squirrels (*Sciurus vulgaris*) in the United Kingdom. *J. Wildl. Dis.* 40(2), 185-196
- SAINSBURY A.W., DEAVILLE R., LAWSON B., *et al.* (2008) Poxviral disease in red squirrels *Sciurus vulgaris* in the UK: spatial and temporal trends of an emerging threat. *EcoHealth* 5(3), 305-316
- SANTICCHIA F., DANTZER B., VAN KESTEREN F., *et al.* (2018) Stress in biological invasions: Introduced invasive grey squirrels increase physiological stress in native Eurasian red squirrels. *J. Anim. Ecol.* 87(5), 1342-1352
- SCHILLING A.-K., VAN HOOIJ A., CORSTJENS P., *et al.* (2019a) Detection of humoral immunity to mycobacteria causing leprosy in Eurasian red squirrels (*Sciurus vulgaris*) using a quantitative rapid test. *Eur. J. Wildl. Res.* 65(3), 49
- SCHILLING A.-K., AVANZI C., ULRICH R.G., *et al.* (2019b) British Red Squirrels Remain the Only Known Wild Rodent Host for Leprosy Bacilli. *Front. Vet. Sci.* 6, 8
- SCHMIDT A. (2011) Functional differentiation of trailing and leading forelimbs during locomotion on the ground and on a horizontal branch in the European red squirrel (*Sciurus vulgaris*, Rodentia). *Zool. Jena Ger.* 114(3), 155-164
- SCHMIDT A., FISCHER M.S. (2011) The kinematic consequences of locomotion on sloped arboreal substrates in a generalized (*Rattus norvegicus*) and a specialized (*Sciurus vulgaris*) rodent. *J. Exp. Biol.* 214(15), 2544-2559

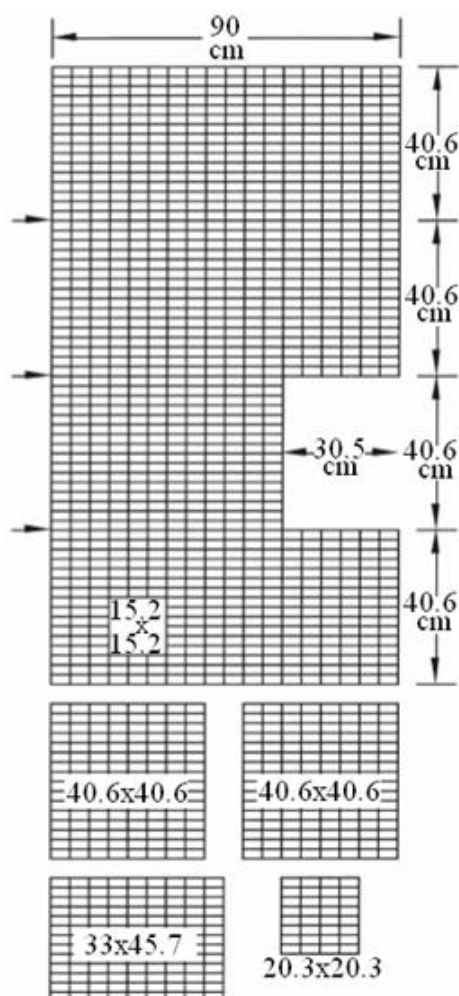
- SELONEN V., VARJONEN R., KORPIMÄKI E. (2015) Immediate or lagged responses of a red squirrel population to pulsed resources. *Oecologia* 177(2), 401-411
- SELONEN V., VARJONEN R., KORPIMÄKI E. (2016) Predator Presence, but not Food Supplementation, Affects Forest Red Squirrels in Winter. *Ann. Zool. Fenn.* 53(3-4), 183-193
- SHAR S., LKHAGVASUREN D., BERTOLINO S., *et al.* (2016) *Sciurus vulgaris*. In *The IUCN Red List of Threatened Species*. [<https://www.iucnredlist.org/species/20025/115155900>] (consulté le 29/06/2020).
- SHIMALOV V.V. (2016) New data about the helminth fauna of the red squirrel (*Sciurus vulgaris* Linnaeus, 1758) in Belorussian Polesie. *J. Parasit. Dis. Off. Organ Indian Soc. Parasitol.* 40(4), 1620-1621
- SHIMALOV V.V., SHIMALOV V.T. (2002) Helminth fauna of the red squirrel (*Sciurus vulgaris* Linnaeus, 1758) in Belorussian Polesie. *Parasitol. Res.* 88(11), 1008
- SHUTTLEWORTH C.M. (2001) Traffic related mortality in a red squirrel (*Sciurus vulgaris*) population receiving supplemental feeding. *Urban Ecosyst.* 5(2), 109-118
- SHUTTLEWORTH C.M., LURZ P.W.W., GEDDES N., BROWNE J. (2012) Integrating red squirrel (*Sciurus vulgaris*) habitat requirements with the management of pathogenic tree disease in commercial forests in the UK. *For. Ecol. Manag.* 279, 167-175
- SHUTTLEWORTH C.M., BERTOLINO S., GILL R., *et al.* (2019) Releasing grey squirrels into the wild. *Vet. Rec.* 184(12), 389-390
- SIMPSON V.R., BIRTLES R.J., BOWN K.J., *et al.* (2006) Hepatozoon species infection in wild red squirrels (*Sciurus vulgaris*) on the Isle of Wight. *Vet. Rec.* 159(7), 202-205
- SIMPSON V.R., DAVISON N.J., BORMAN A.M., LINTON C.J., EVEREST D. (2009) Fatal candidiasis in a wild red squirrel (*Sciurus vulgaris*). *Vet. Rec.* 164(11), 342-344
- SIMPSON V.R., HARGREAVES J., EVEREST D.J., *et al.* (2010) Mortality in red squirrels (*Sciurus vulgaris*) associated with exudative dermatitis. *Vet. Rec.* 167(2), 59-63
- SIMPSON V.R., HARGREAVES J., BUTLER H. M., DAVISON N. J., EVEREST D. J. (2013a) Causes of mortality and pathological lesions observed post-mortem in red squirrels (*Sciurus vulgaris*) in Great Britain. *BMC Vet. Res.* 9, 229
- SIMPSON V.R., DAVISON N.J., KEARNS A.M., *et al.* (2013b) Association of a lukM-positive clone of *Staphylococcus aureus* with fatal exudative dermatitis in red squirrels (*Sciurus vulgaris*). *Vet. Microbiol.* 162(2-4), 987-991
- SIMPSON S., BLAMPIED N., PENICHE G., *et al.* (2013) Genetic structure of introduced populations: 120-year-old DNA footprint of historic introduction in an insular small mammal population. *Ecol. Evol.* 3(3), 614-628
- STARKEY A., DELBARCO-TRILLO J. (2019) Supplementary feeding can attract red squirrels (*Sciurus vulgaris*) to optimal environments. *Mamm. Biol.* 94, 134-139
- STEPPAN S.J., STORZ B.L., HOFFMANN R.S. (2004) Nuclear DNA phylogeny of the squirrels (Mammalia: Rodentia) and the evolution of arboreality from c-myc and RAG1. *Mol. Phylogenet. Evol.* 30(3), 703-719
- STOCKER (2005) Small mammals. In *Practical Wildlife Care*, 2^e ed. Oxford, Blackwell, pp 193-199
- STOKSTAD E. (2016) Red squirrels rising. *Science* 352(6291), 1268-1271
- STUDD E.K. (2012) Environmental and biological correlates of maternal investment in red squirrels. Master of Science. McGill University, Macdonald Campus
- THOMAS K., TOMPKINS D.M., SAINSBURY A.W., *et al.* (2003) A novel poxvirus lethal to red squirrels (*Sciurus vulgaris*). *J. Gen. Virol.* 84(Pt 12), 3337-3341
- THORINGTON R.W., HOFFMANN R.S. (2005) Family Sciuridae. In *Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference*, Eds Wilson D.E., Reeder D.M., 3^e ed. Baltimore, Johns Hopkins Univ. Press
- TRIZIO I., CRESTANELLO B., GALBUSERA P., *et al.* (2005) Geographical distance and physical barriers shape the genetic structure of Eurasian red squirrels (*Sciurus vulgaris*) in the Italian Alps. *Mol. Ecol.* 14(2), 469-481
- TSUJI M., ZAMOTO A., KAWABUCHI T., *et al.* (2006) Babesia microti-like parasites detected in Eurasian red squirrels (*Sciurus vulgaris orientis*) in Hokkaido, Japan. *J. Vet. Med. Sci.* 68(7), 643-646

- TURKIA T., SELONEN V., BROMMER J.E. (2016) Large-scale spatial synchrony in red squirrel (*Sciurus vulgaris*) sex ratios. *J. Mammal.* 97(3), 744-752
- TURKIA T., KORPIMÄKI E., VILLERS A., SELONEN V. (2018) Predation risk landscape modifies flying and red squirrel nest site occupancy independently of habitat amount. *PloS One* 13(3)
- TURNER J.M., REHER S., WARNECKE L., DAUSMANN K.H. (2017) Eurasian Red Squirrels Show Little Seasonal Variation in Metabolism in Food-Enriched Habitat. *Physiol. Biochem. Zool.* PBZ 90(6), 655-662
- VAUBOURDOLLE P. (2002) L'écureuil roux européen (*Sciurus vulgaris*) : synthèse bibliographique et application à la forêt de la Baule-Escoublac (44). Thèse Méd. Vét. École nationale vétérinaire de Nantes
- VAVASSEUR B. (2020) Communication téléphonique.
- VERBEYLEN G., WAUTERS L.A., MATTHYSEN E. (1998) Effects of habitat fragmentation on red squirrels (*Sciurus vulgaris* L. 1758). In *Populations: Natural and Manipulated Symposium, University of Gent, 29 October 1997 ; Proceedings.* Gent, Dodonaea
- VON LOEWENICH F.D., SECKERT C., DAUBER E., et al. (2019) Prosthetic Valve Endocarditis with *Bartonella washoensis* in a Human European Patient and Its Detection in Red Squirrels (*Sciurus vulgaris*). *J. Clin. Microbiol.* 58(1)
- WAUTERS L.A., SWINNEN C., DHONDT A.A. (1992) Activity budget and foraging behaviour of red squirrels (*Sciurus vulgaris*) in coniferous and deciduous habitats. *J. Zool.* 227(1), 71-86
- WAUTERS L.A., BIJNENS L., DHONDT A.A. (1993) Body Mass at Weaning and Juvenile Recruitment in the Red Squirrel. *J. Anim. Ecol.* 62(2), 280
- WAUTERS Luc A., MATTHYSEN E., DHONDT A.A. (1994) Survival and lifetime reproductive success in dispersing and resident red squirrels. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 34(3), 197-201
- WAUTERS L. A., HUTCHINSON Y., PARKIN D.T., DHONDT A.A. (1994) The effects of habitat fragmentation on demography and on the loss of genetic variation in the red squirrel. *Proc. Biol. Sci.* 255(1343), 107-111
- WAUTERS L.A., SUHONEN J., DHONDT A.A. (1995) Fitness consequences of hoarding behaviour in the Eurasian red squirrel. *Proc. Biol. Sci.* 262(1365), 277-281
- WAUTERS L.A., SOMERS L., DHONDT A.A. (1997) Settlement behaviour and population dynamics of reintroduced red squirrels *Sciurus vulgaris* in a park in Antwerp, Belgium. *Biol. Conserv.* 82(1), 101-107
- WAUTERS L.A., LURZ P.W.W., GURNELL J. (2000) Interspecific effects of grey squirrels (*Sciurus carolinensis*) on the space use and population demography of red squirrels (*Sciurus vulgaris*) in conifer plantations. *Ecol. Res.* 15(3), 271-284
- WAUTERS L.A., GURNELL J., MARTINOLI A., TOSI G. (2001) Does interspecific competition with introduced grey squirrels affect foraging and food choice of Eurasian red squirrels? *Anim. Behav.* 61(6), 1079-1091
- WAUTERS L.A., TOSI G., GURNELL J. (2002a) Interspecific competition in tree squirrels: do introduced grey squirrels (*Sciurus carolinensis*) deplete tree seeds hoarded by red squirrels (*S. vulgaris*)? *Behav. Ecol. Sociobiol.* 51(4), 360-367
- WAUTERS L.A., GURNELL J., MARTINOLI A., TOSI G. (2002b) Interspecific competition between native Eurasian red squirrels and alien grey squirrels: does resource partitioning occur? *Behav. Ecol. Sociobiol.* 52(4), 332-341
- WAUTERS L.A., MATTHYSEN E., ADRIAENSEN F., TOSI G. (2004) Within-sex density dependence and population dynamics of red squirrels *Sciurus vulgaris*. *J. Anim. Ecol.* 73(1), 11-25
- WAUTERS L.A., GUIDO T., GURNELL J. (2005) A review of the competitive effects of alien grey squirrels on behaviour, activity and habitat use of red squirrels in mixed, deciduous woodland in Italy. *Hystrix Ital. J. Mammal.* 16
- WAUTERS L.A., VERBEYLEN G., PREATONI D., MARTINOLI A., MATTHYSEN E. (2010) Dispersal and habitat cuing of Eurasian red squirrels in fragmented habitats. *Popul. Ecol.* 52(4), 527-536
- WAUTERS L.A., MAZZAMUTO M.V., SANTICCHIA F., et al. (2019) Interspecific competition affects the expression of personality-traits in natural populations. *Sci. Rep.* 9(1), 11189

- WAUTERS L.A., CASALE P. (1996) Long-term scatterhoarding by Eurasian red squirrels (*Sciurus vulgaris*). *J. Zool.* 238(2), 195-207
- WAUTERS L.A., DHONDT A.A. (1985) Population dynamics and social behaviour of red squirrel populations in different habitats. In *XVIIème Congress of the International Union of Game Biologists*, Bruxelles, 17-21 septembre 1985, pp 311-318
- WAUTERS L.A., DHONDT A.A. (1989a) Variation in length and body weight of the red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in two different habitats. *J. Zool.* 217(1), 93-106
- WAUTERS L.A., DHONDT A.A. (1989b) Body Weight, Longevity and Reproductive Success in Red Squirrels (*Sciurus vulgaris*). *J. Anim. Ecol.* 58(2), 637
- WAUTERS L.A., DHONDT A.A. (1992) Spacing behaviour of red squirrels, *Sciurus vulgaris*: variation between habitats and the sexes. *Anim. Behav.* 43(2), 297-311
- WAUTERS L.A., DHONDT A.A. (1993) Immigration pattern and success in red squirrels. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 33(3), 159-167
- WAUTERS L.A., DHONDT A.A. (1995) Lifetime Reproductive Success and Its Correlates in Female Eurasian Red Squirrels. *Oikos* 72(3), 402
- WAUTERS L.A., GURNELL J. (1999) The Mechanism of Replacement of Red Squirrels by Grey Squirrels: A Test of the Interference Competition Hypothesis. *Ethology* 105(12), 1053-1071
- WERNIKE K., WYLEZICH C., HÖPER D., *et al.* (2018) Widespread occurrence of squirrel adenovirus 1 in red and grey squirrels in Scotland detected by a novel real-time PCR assay. *Virus Res.* 257, 113-118
- WIBBELT G., TAUSCH S.H., DABROWSKI P.W., *et al.* (2017) Berlin Squirreelpox Virus, a New Poxvirus in Red Squirrels, Berlin, Germany. *Emerg. Infect. Dis.* 23(10), 1726-1729
- WOOLWAY E.E., GOODENOUGH A.E. (2017) Effects of visitor numbers on captive European red squirrels (*Sciurus vulgaris*) and impacts on visitor experience. *Zoo Biol.* 36(2), 112-119
- YODER C.A., MAYLE B.A., FURCOLOW C.A., COWAN D.P., FAGERSTONE K.A. (2011) Feeding of grey squirrels (*Sciurus carolinensis*) with the contraceptive agent DiazaCon™: effect on cholesterol, hematology, and blood chemistry. *Integr. Zool.* 6(4), 409-419
- YOULATOS D., SAMARAS A. (2011) Arboreal locomotor and postural behaviour of European red squirrels (*Sciurus vulgaris* L.) in northern Greece. *J. Ethol.* 29(2), 235-242
- ZONG C., MEI S., SANTICCHIA F., *et al.* (2014) Habitat effects on hoarding plasticity in the Eurasian red squirrel (*Sciurus vulgaris*). *Hystrix Ital. J. Mammal.* 25(1), 14-17
-

Annexes:

Annexe 1 : Plan de cage intermédiaire pré-sevrage (A. M. Casey, 2011)



Matériel:

- Grillage en fil de fer galvanisé
- Pince
- Clips en zinc

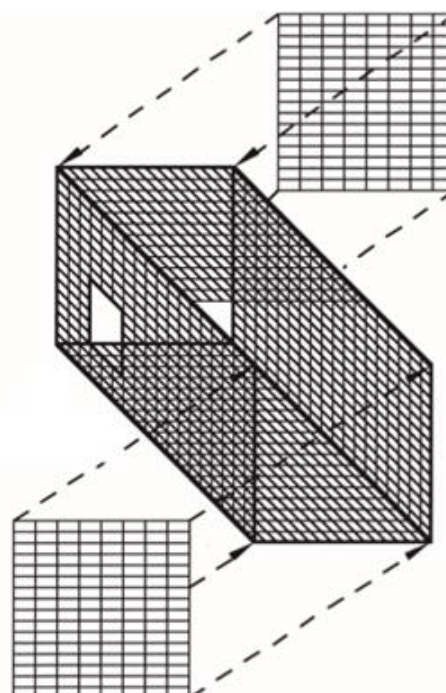
Etape 1: Découper des morceaux de grillage comme indiqué ci-contre. Limer les bords tranchants jusqu'à ce qu'ils soient lisses.

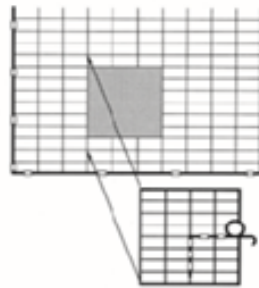
Etape 2: Plier le grillage tous les 40.6 cm, aux endroits indiqués par des flèches, à 90°.

Etape 3: Fixer l'ensemble à l'aide des clips en zinc tous les 12 à 15 cm. Veiller à ce que les bords soient bien droits et non ondulés.



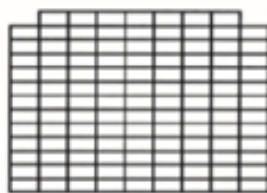
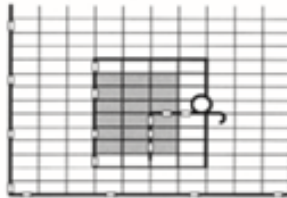
Clips en zinc mis en place





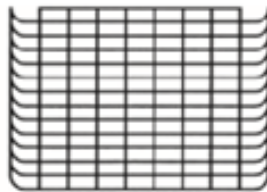
Etape 4: Placer ensuite la petite porte et la fixer grâce aux clips en zinc qui servent de charnières.

Utiliser un verrou pour la fermeture.



Etape 5: Couper les coins supérieurs de la grande porte. Replier les bords comme indiqué ci-contre.

Placer la porte à son emplacement à l'aide de clips en zinc.



Annexe 2 : Plan de boîte servant à substituer un nid pour écureuil (Issacs, 2002)

Matériel:

- Contre-plaqué
- Clous et vis
- Crochets et chamière
- Scie circulaire ou d'établi
- Marteau et tournevis
- Perceuse électrique
- Scie cloche

Etape 1: Découper le contre plaqué comme ce qui suit:

2 morceaux de 30.5 x 14 cm: les côtés

1 morceau de 14 x 14 cm: le dessous

2 morceaux de 30.5 x 17.8 cm: le devant et l'arrière

1 morceau de 17.8 x 17.8 cm: le dessus

Etape 2: Clouer le devant sur les 2 côtés, on pourra pré-percer des petits trous pour chaque clou



Etape 3: Clouer l'arrière à l'assemblage réalisé à l'étape 2



Etape 4: Faire rentrer le dessous dans une des extrémités de la boîte, le clouer sur les côtés.



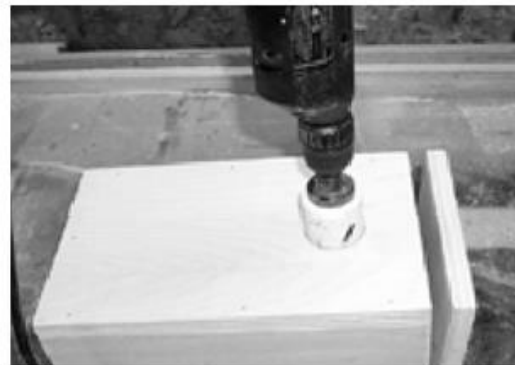
Etape 5: Intégrer la pièce du dessus grâce à une charnière.

Marquer l'emplacement des trous et percer des trous de départ de vis pour le montage de la charnière.

Monter la charnière avec des vis.



Etape 6: Percer un trou de 5 cm de diamètre à l'aide de la scie à trou. Le trou doit être centré et se trouver à environ 6.5 cm du haut



Etape 7: On peut rajouter des crochets pour faciliter la suspension. Enfoncer des clous et les replier avec un angle de 90°



Résultat une fois terminée

Annexe 3 : Tableau récapitulatif des affections les plus couramment rencontrées en captivité et leur traitement (Stocker, 2005 ; Casey et Goldthwait, 2010 ; LaRose et al., 2010 ; Bergman-Althouse, 2011 ; Casey et Goldthwait, 2011b ; Le Barzic, 2013 ; Casey et Goldthwait, 2013 ; Blackett, 2017 ; Everest et al., 2018)

Type de troubles	Affections	Agents pathogène	Epidémiologie	Méthode de diagnostic	Traitement	Bibliographie
Troubles liés à l'alimentation	Maladies infectieuses	Endoparasites : Coccidies (<i>Eimeria sciurorum</i>) Nématodes	Juvéniles Coccidies >> nématodes	Coproscopie	Réhydratation Limiter l'activité (petite cage) Veiller particulièrement à l'hygiène - Coccidies : Triméthoprim/sulfamide (Bactrim®) 15 mg/kg BID ou 30 mg/kg SID pendant 10-20 jours, IM/SC/PO - Nématodes : Pyrantel pamoate 50 mg/kg prise unique PO Fenbendazole (Panacur®) 10-25 mg/kg SID pendant 5 jours PO Ivermectine (Ivomec®) 0,2-0,4 mg/kg une fois tous les 5-7 jours, SC	(Le Barzic, 2013 ; Blackett, 2017)

		Adénovirose Squirrel- <i>adénovirus-1</i>	Tout âge	PCR sur rate Microscopie électronique du contenu intestinal	Réhydratation Limiter l'activité (petite cage) Veiller particulièrement à l'hygiène Antibiothérapie ciblée si surinfection bactérienne (après antibiogramme)	(Blackett, 2017 ; Everest <i>et al.</i> , 2018)
		Rotavirose : <i>Rotavirus</i>	Juvéniles	Microscopie électronique Analyse d'échantillons fécaux	Réhydratation Limiter l'activité (petite cage) Veiller particulièrement à l'hygiène Antibiothérapie ciblée si surinfection bactérienne (après antibiogramme)	(Blackett, 2017)
	Carences alimentaires		Juvéniles ou adultes nourris avec une ration inappropriée, manque d'exposition au soleil Concerne souvent des animaux gardés en captivité	Clinique : aspect des membres, déformations, fractures spontanées Signes radiographiques : densité réduite de la corticale des os longs, déformations	Supplémentation en calcium et vitamine D3 Rééquilibrage de la ration : aliments riches en calcium Veiller à l'exposition à la lumière du soleil au moins une heure par jour	(Stocker, 2005 ; Bergman- Althouse, 2011 ; Blackett, 2017)

	Malocclusion		Adultes	Clinique : aspects des dents, plaies	Coupe de dents Si plaie : analgésie Si surinfection : Antibiotiques (après antibiogramme)	(Blackett, 2017)
Troubles respiratoires	Bronchopneumonie par fausse déglutition		Juvéniles nourris au biberon	Signes pendant le repas Clinique : abattement, dyspnée expiratoire, voire également inspiratoire, crépitements à l'auscultation respiratoire localisés en région crâniale droite Signes radiographiques : opacité bronchoalvéolaire dans le lobe moyen droit	Limitier l'activité (petite cage) Inhalations (bol d'eau chaude, permettant de créer une atmosphère humide) 10 min, 3 fois par jour minimum Réhydratation si besoin (éviter la voie orale) Oxygénothérapie si besoin Analgésie si besoin Faire attention lors des repas (cf. les conseils de prévention)	(Casey et Goldthwait, 2011b ; Bergman-Althouse, 2011 ; Le Barzic, 2013 ; Blackett, 2017)

	Bronchopneumonie infectieuse	<i>Bordetella bronchiseptica</i> <i>Pasteurella multocida</i>	Souvent déclenchée à la suite d'un stress, attention au moment de l'arrivée dans le centre de soins	Clinique : léthargie, dyspnée expiratoire, crépitements à l'auscultation respiratoire Signes radiographiques : opacité broncho-alvéolaire généralisée	Réhydratation si besoin (éviter le voie orale) Analgésie si besoin Antibiothérapie large spectre : Triméthoprim sulfamides (Bactrim®) Enrofloxacin (Baytril®) après antibiogramme 10 mg/kg SID, SC	(Casey et Goldthwait, 2010 ; Casey et Goldthwait, 2011b ; Blackett, 2017)
Affections cutanées	Squirrel Poxvirose	Squirrel Poxvirus	Subadultes et adultes	Clinique : léthargie, lésions cutanées Microscopie électronique d'échantillons de peau	Réhydratation Analgésie Antibiothérapie si surinfections : Enrofloxacin (Baytril®) après antibiogramme 10 mg/kg SID, SC	(LaRose et al., 2010 ; Blackett, 2017)
	Dermatite exsudative infectieuse fatale	<i>Staphylococcus aureus</i>	Tout âge	Clinique : lésions cutanées, alopecie Microscopie électronique des lésions Culture bactérienne	Réhydratation Analgésie Antibiothérapie ciblée : Enrofloxacin (Baytril®) après antibiogramme 10 mg/kg SID, SC	(Blackett, 2017)

	Ectoparasites	<i>Monopsyllus sciurorum</i> <i>Ixodes ricinus</i> <i>Nehaematopinus sciuri</i> <i>Dermacarus sciurinus</i>	Juvéniles et adultes en mauvais état général	Clinique (visualisation macroscopique des agents pathogènes ou des conséquences de leur présence)	Retrait à la main ou au peigne Ivermectine (Ivomec®) une goutte appliquée sur la peau au niveau de la nuque deux fois à 15 jours d'intervalle Les très jeunes animaux ne sont pas traités	(Le Barzic, 2013 ; Blackett, 2017)
Traumatismes	Plaies		Tout âge	Clinique	Analgésie Anti-inflammatoires non stéroïdiens : meloxicam 1-2 mg/kg toutes les 2-4h, SC/PO Antibiotiques si morsure de chat ou plaie de date inconnue : Triméthoprim sulfamides (Bactrim®) Enrofloxacin (Baytril®) si surinfections et après antibiogramme	(Casey et Goldthwait, 2013 ; Blackett, 2017)
	Traumatisme crânien ou spinal		Tout âge	Clinique (épistaxis, mâchoire luxée ou fracturée, signes neurologiques, vessie non vidangée...)	Limite de l'activité (petite cage) Mis au calme, sans lumière ou bruits ou odeurs fortes Oxygénothérapie	(Bergman-Althouse, 2011)

	Fractures		Tout âge	Clinique et radiographique	Limiter l'activité (petite cage) Analgésie Fractures ouvertes ou complexes : traitement chirurgical Euthanasie préconisée en cas de fractures ouvertes surinfectées, ouvertes non traitables chirurgicalement, luxations articulaires.	(Bergman-Althouse, 2011)
Autres	Paraphimosis		Juvéniles non sevrés	Observation du comportement	Séparer l'individu Enrichir l'habitat par des éléments de substitution Antibiothérapie locale en cas de surinfections.	(Bergman-Althouse, 2011)

L'ÉCUREUIL ROUX (*SCIURUS VULGARIS*) : BIOLOGIE ET GESTION EN CENTRE DE SOINS

AUTEUR : Marion SAHM

RÉSUMÉ :

L'écureuil roux européen (*Sciurus vulgaris*) connaît un déclin de ses populations en Grande-Bretagne et en Irlande depuis le 20^{ème} siècle. Plus récemment en Italie, on observe la même tendance. L'écureuil gris (*Sciurus carolinensis*), espèce envahissante importée en Angleterre à partir de 1876, puis en Irlande à partir de 1913 et enfin en Italie en 1948, est identifié comme une menace importante contribuant à ce déclin. Son extension en France depuis l'Italie est très probable et menacerait les populations françaises dont les effectifs sont faibles. En France actuellement, la plus importante menace reste l'homme et la destruction des habitats naturels de l'écureuil roux. Les connaissances de la biologie de cette espèce permettent de mieux comprendre les phénomènes qui mènent à son déclin et discuter des meilleures solutions à mettre en place. La gestion raisonnée des forêts peut être un bon moyen de sauvegarder les habitats naturels de l'écureuil roux, et des solutions pour *a minima* ralentir l'extension de l'écureuil gris. Cette étude bibliographique s'adresse aux gestionnaires de centres de soins et aux vétérinaires dans le but d'améliorer la prise en charge de ces animaux à la lumière des connaissances actuelles de la biologie de l'espèce et des menaces qui pèsent sur elle. Sont évoqués les points importants à prendre en compte lors de la prise en charge de cette espèce et notamment sur les étapes clés que représentent la réhabilitation et le relâcher. La mise en commun des expériences des différents centres de soins pourrait permettre une gestion adaptée et une meilleure réhabilitation. Cette étude a également pour but d'informer le grand public par l'intermédiaire des centres de soins et des vétérinaires afin de le sensibiliser aux menaces qui pèsent sur l'écureuil roux. Cela permettrait d'obtenir son soutien dans cette lutte pour sa sauvegarde et de limiter le commerce d'espèces d'écureuils sauvages à l'origine d'introduction d'espèces envahissantes comme l'écureuil gris.

MOTS CLÉS :

ÉCUREUIL ROUX - *SCIURUS VULGARIS* – CENTRE DE SOINS - RÉHABILITATION - CONSERVATION

JURY :

Président : Pr Bijan GHALEH - MARZBAN

1^{er} Assesseur : Dr Pascal ARNÉ

2nd Assesseur : Dr Véronica RISCO-CASTILLO

THE RED SQUIRREL (*SCIURUS VULGARIS*): BIOLOGY AND WILDLIFE RESCUE CENTRE MANAGEMENT

AUTHOR: Marion SAHM

SUMMARY:

In the 20th century, the population of European red squirrels (*Sciurus vulgaris*) started to decline in the United Kingdom as well as Ireland. More recently, the same phenomenon was observed in Italy. The main reason seems to be the increasing number of American grey squirrels (*Sciurus carolinensis*), an invading species imported into the United Kingdom since 1876, into Ireland since 1913 and into Italy since 1948. This is a significant threat for the indigenous species and contributes to its decline. The spreading of the grey squirrel from Italy to France is very likely and will endanger the small populations of French squirrels. Currently, in France, the most significant threat over red squirrels remains the way human beings disturb and even destroy their natural habitats. The biologic knowledge on this species helps understanding the phenomena leading to this decline and to find how to solve the problem in the best way. For example, sustainable forest management can be a way to save the natural habitats of red squirrels and to reduce the spreading of grey squirrels. This study intends to give some insights on this topic to managers of wildlife rescue centres and to veterinarians. Indeed, a better knowledge of this species and of what is jeopardising it can help them to provide better care to it. This thesis addresses important points for the animal's care such as rehabilitation and release. Comparing those data with the experience of rescue centres can lead to adaptative management and better rehabilitation. Rescue centres and veterinarians should make aware the public of this worrying situation. The support of the public can be crucial for the red squirrel safeguard and for limiting the trade of wild squirrel species, which is responsible for introducing invading species like the grey squirrel.

KEYWORDS:

EUROPEAN RED SQUIRREL – *SCIURUS VULGARIS* – WILDLIFE RESCUE CENTRE – REHABILITATION – PROTECTION

JURY:

Chairperson: Pr Bijan GHALEH - MARZBAN

1st Assessor: Dr Pascal ARNÉ

2nd Assessor: Dr Véronica RISCO-CASTILLO