



HAL
open science

Le putois à pieds noirs (*Mustela nigripes*), un modèle de conservation pour la famille des mustélidés et intérêt dans le projet de réintroduction du vison d'Europe (*Mustela lutreola*)

Nina Pipa

► To cite this version:

Nina Pipa. Le putois à pieds noirs (*Mustela nigripes*), un modèle de conservation pour la famille des mustélidés et intérêt dans le projet de réintroduction du vison d'Europe (*Mustela lutreola*). Médecine vétérinaire et santé animale. 2023. dumas-04416992

HAL Id: dumas-04416992

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04416992v1>

Submitted on 25 Jan 2024

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Année 2023

**LE PUTOIS À PIEDS NOIRS (*MUSTELA NIGRIPES*), UN
MODÈLE DE CONSERVATION POUR LA FAMILLE DES
MUSTÉLIDÉS ET INTÉRÊT DANS LE PROJET DE
RÉINTRODUCTION DU VISON D'EUROPE (*MUSTELA
LUTREOLA*)**

THÈSE

pour obtenir le diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

la Faculté de Médecine de Créteil (UPEC)

le 21 décembre 2023

par

Nina, Manon PIPA

sous la direction de

JURY

Président du jury :	M. Laurent TIRET	Professeur à l'EnvA
Directeur de thèse :	M. Alain FONTBONNE	Professeur à l'EnvA
Examineur :	M. Charly PIGNON	Ingénieur de recherche à l'EnvA

Liste des enseignants intervenant dans l'encadrement des thèses de Doctorat vétérinaire



Version juillet 2023

Liste des Professeurs et Maîtres de conférences titulaires de l'HDR

M	Adjou	Karim	Professeur	DPASP
M	Audigié	Fabrice	Professeur	DEPEC
M	Bellier	Sylvain	Professeur	DSBP
M	Blaga	Radu	Professeur	DSBP
M	Blot	Stéphane	Professeur	DEPEC
M	Boulouis	Henri-Jean	Professeur émérite	DSBP
Mme	Chahory	Sabine	Professeur	DEPEC
M	Chateau	Henry	Professeur	DSBP
Mme	Chetboul	Valérie	Professeur	DEPEC
Mme	Crevier-Denoix	Nathalie	Professeur	DSBP
M	Degueurce	Christophe	Professeur	DSBP
M	Denoix	Jean-Marie	Professeur	DEPEC
M	Desquilbet	Loïc	Professeur	DSBP
Mme	Dufour	Barbara	Professeur émérite	DPASP
M	Eloit	Marc	Professeur	DSBP
M	Fayolle	Pascal	Professeur émérite	DEPEC
M	Federighi	Michel	Professeur	DPASP
M	Fontbonne	Alain	Professeur	DEPEC
Mme	Gilbert	Caroline	Professeur	DSBP
M	Grandjean	Dominique	Professeur	DEPEC
Mme	Grimard-Ballif	Bénédicte	Professeur	DPASP
Mme	Haddad-Hoang Xuan	Nadia	Professeur	DPASP
M	Jouvion	Gregory	Professeur	DSBP
M	Kohlhauer	Matthias	Professeur	DSBP
Mme	Le Podder	Sophie	Professeur	DSBP
Mme	Le Roux	Delphine	Maître de conférences HDR	DSBP
M	Manassero	Mathieu	Professeur	DEPEC
Mme	Maurey-Guéneq	Christelle	Professeur	DEPEC
M	Millemann	Yves	Professeur	DPASP
Mme	Pilot-Storck	Fanny	Professeur	DSBP
M	Ponter	Andrew	Professeur	DPASP
Mme	Risco-Castillo	Véronica	Maître de conférences HDR	DSBP
Mme	Rivière	Julie	Maître de conférences HDR	DPASP
Mme	Robert	Céline	Professeur	DSBP
M	Tiret	Laurent	Professeur	DSBP
M	Tissier	Renaud	Professeur	DSBP
M	Verwaerde	Patrick	Professeur	DEPEC
Mme	Viateau	Véronique	Professeur	DEPEC

Liste des Maîtres de conférences et Ingénieurs de recherche DMV

M	Arné	Pascal	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barassin	Isabelle	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barbarino	Alix	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Benckekroun	Ghita	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Bertoni	Lelia	Maître de conférences	DEPEC
M	Bolnot	Francois	Maître de conférences	DPASP
Mme	Canonne-Guibert	Morgane	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Chevallier	Lucie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Cochet-Faivre	Noëlle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Cordonnier-Lefort	Nathalie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Coudry	Virginie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Crepeaux	Guillemette	Maître de conférences	DSBP
M	Crozet	Guillaume	Maître de conférences	DPASP
Mme	De Paula Reis	Alline	Maître de conférences	DPASP
M	Delsart	Maxime	Maître de conférences	DPASP
Mme	Denis	Marine	Ingénieur de recherche (DMV)	DPASP
M	Deshuillers	Pierre	Maître de conférences	DSBP
M	Gauthier	Michel	Maître de conférences associé	DPASP
Mme	Guérin	Virginie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Guétin-Poirier	Valentine	Maître de conférences	DPASP
Mme	Jacquet	Sandrine	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Kurtz	Maxime	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Lagrée	Anne-Claire	Maître de conférences	DSBP
Mme	Le Dudal	Marine	Ingénieur de recherche (DMV)	DSBP
Mme	Legrand	Chantal	Maître de conférences associé	DSBP
M	Mammeri	Mohamed	Maître de conférences	DSBP
Mme	Manguin	Estelle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Marignac	Genevieve	Maître de conférences	DSBP
Mme	Marotto	Stéphanie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Maurice	Emeline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Mespoulhes-Rivière	Céline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Mtiemet	Narjès	Maître de conférences	DPASP
M	Mortier	Jérémy	Maître de conférences associé	DEPEC
M	Nudelmann	Nicolas	Maître de conférences	DEPEC
M	Pignon	Charly	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Polack	Bruno	Maître de conférences	DSBP
Mme	Quéré	Émilie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Ravary-Plumioën	Bérandère	Ingénieur de recherche (DMV)	DPASP
M	Reyes-Gomez	Edouard	Maître de conférences	DSBP
Mme	Rose	Hélène	Maître de conférences associé	DSBP
M	Tanquerel	Ludovic	Maître de conférences	DEPEC

Remerciements

Au Président du Jury de cette thèse, M. Laurent TIRET, Professeur à l'EnvA,
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de cette thèse,
Remerciements respectueux.

A M. Alain FONTBONNE, Professeur à l'EnvA,
Pour m'avoir proposé ce sujet,
Pour votre relecture attentive,
Sincères remerciements.

A M. Charly PIGNON, Ingénieur de recherche à l'EnvA,
Pour votre relecture attentive,
Sincères remerciements.



Figure 1 : Putois à pieds noirs (*Mustela nigripes*), par Brian Maxfield

Table des matières

Table des matières	1
Liste des figures	5
Liste des tableaux	8
Liste des abréviations	10
Introduction	12
Première partie : Biologie et écologie du putois à pieds noirs	14
I. Présentation du putois à pieds noirs <i>Mustela nigripes</i>	14
a. Classification phylogénétique du putois à pieds noirs	14
i. La famille des <i>Mustelidae</i>	14
ii. La sous-famille des <i>Mustelinae</i>	17
b. Anatomie du putois à pieds noirs	17
i. Portrait.....	17
ii. Anatomie musculosquelettique.....	18
iii. Anatomie interne.....	20
c. Reproduction et comportement	22
i. Physiologie de la reproduction	22
ii. Développement des petits.....	23
iii. Comportement	23
d. Niche écologique du putois à pieds noirs	24
i. Aire de répartition et habitat.....	24
e. Régime alimentaire	26
f. Activités et relations avec le milieu.....	27
II. Le putois à pieds noirs, une espèce menacée d’extinction	28
a. Les menaces indépendantes de l’être humain.....	28
i. Affections graves touchant le putois à pieds noirs	28
□ La peste selvatique	28
□ La maladie de Carré.....	29
ii. Affections d’importance modérée touchant le putois à pieds noirs	29
□ La tularémie.....	29
□ La toxoplasmose.....	30
□ La grippe	30
□ Les parasites	30
iii. La prédation.....	31
b. Les menaces dues à l’être humain	31
i. Destruction de l’habitat	31
ii. Destruction des proies.....	32
iii. Réchauffement climatique	34
iv. Menaces humaines accidentelles et volontaires	35
c. Chronologie du déclin	35
i. Jusqu’aux années 1950.....	35

ii.	Années 1960 – 1980	36
d.	État des lieux de la population mondiale du putois à pieds noirs.....	36
i.	Zoom sur la population actuelle	36
ii.	Une population appauvrie génétiquement	37
iii.	Comparaison de la situation du putois à pieds noirs avec celle du vison d'Europe	39
□	Répartition du vison d'Europe.....	39
□	Destruction de l'habitat.....	40
□	Mortalité accidentelle	41
□	Partage de la même niche écologique avec le vison d'Amérique (<i>Neovison vison</i>)	41
□	Appauvrissement génétique de la population	41

Deuxième partie : Le putois à pieds noirs, un modèle pour la conservation du vison d'Europe

I. Le putois à pieds noirs, une espèce réglementée faisant l'objet d'intenses efforts de conservation.....45

a.	Statuts	45
i.	Statut juridique	45
□	Au niveau mondial.....	45
□	Au niveau national.....	46
□	Au niveau étatique	47
ii.	Statut de conservation.....	47
b.	Les programmes de conservation	48
i.	Le Programme de Restauration et de Réintroduction du Putois à pieds noirs.....	48
□	Le programme	48
□	Le plan de restauration.....	48
ii.	Les programmes de conservation : entre reproduction et réintroduction.....	49
□	Au Wyoming	49
□	Au Colorado et en Utah.....	50
□	Dans le Dakota du Sud.....	52
□	Dans le Montana	53
□	En Arizona.....	54
□	Au Nouveau Mexique	56
□	Au Mexique	56
□	Au Canada.....	56
□	Implication des institutions	58
iii.	Les programmes de conservation : entre protection des proies et du putois à pieds noirs.....	60
□	Protection des chiens de prairie.....	60
□	Protection des putois à pieds noirs	60
iv.	AZA Black-Footed Ferret SAFE Program	61
v.	Environmental Quality Incentives Program	63

II. Apports des programmes de conservation : l'acquisition de connaissances scientifiques et techniques.....64

a.	Acquisition de connaissances scientifiques et techniques concernant la gestion du putois à pieds noirs.....	64
i.	Données biologiques assimilées grâce aux programmes de conservation.....	64
□	Données physiologiques.....	64

□	Données comportementales	65
ii.	Connaissances assimilées sur la gestion en captivité du putois à pieds noirs	65
□	Préférences environnementales	65
□	Intérêt des expériences de conditionnement	65
□	Biosécurité.....	67
b.	Acquisition de connaissances scientifiques et techniques concernant la reproduction du putois à pieds noirs	68
i.	L'amélioration des conditions d'élevage	68
□	Diminution de l'intervention humaine	68
□	Enrichissement du milieu	68
□	Amélioration de la ration alimentaire	69
ii.	Intérêts de la reproduction assistée dans les programmes de sauvegarde du putois à.....	69
□	Le suivi des chaleurs et de la préparation des mâles	69
□	La création des couples	70
□	Le diagnostic de gestation	70
□	L'insémination artificielle	71
□	La création d'une banque de ressources génomiques	73
□	Le clonage.....	73
iii.	Étude et analyse génétique du putois à pieds noirs	74
III. Analyse rétrospective des programmes et intérêt dans la conservation du vison d'Europe		
75		
a.	Les éléments de réussite pour la conservation du putois à pieds noirs.....	75
i.	L'augmentation de la population.....	75
ii.	La conservation du patrimoine génétique.....	75
iii.	Une réussite scientifique	75
iv.	Une réintroduction en plein essors	76
v.	Bilan des moyens mis en œuvre	76
b.	Les échecs du programme, leurs solutions et les perspectives d'amélioration entreprises.....	76
i.	Réintroduction.....	76
ii.	Sécurité sanitaire	77
□	Les épidémies affaiblissant les populations de putois à pieds noirs	77
□	Plusieurs cas de décès suite à l'utilisation d'un vaccin contre la maladie de Carré	77
□	La transmission de maladies par l'être humain.....	77
iii.	Reproduction	78
□	L'inefficacité de la reproduction.....	78
□	Les difficultés de conservation du patrimoine génétique	78
c.	Le putois à pieds noirs, une espèce modèle pour la conservation du vison d'Europe.....	79
i.	Le putois à pieds noirs, un exemple de réussite dans le milieu de la conservation	79
ii.	Intérêt du putois à pieds noirs comme modèle de conservation pour la réintroduction du vison d'Europe.....	79
iii.	Limites de la transposition du modèle du putois à pieds noirs sur le vison d'Europe.....	80
Conclusion		81
Liste des références bibliographiques.....		83
Annexe 1 : Recommandations pour la conservation du putois à pieds noirs		103

Annexe 2 : Caractéristiques des sites de réintroduction du putois à pieds noirs entre 1991 et 2018 et leur statut en 2018.....	107
Annexe 3 : Détermination de l'œstrus chez la femelle putois à pies noirs	109
Annexe 4 : Protocole de récolte de semence chez le putois à pieds noirs.....	112
Annexe 5 : Protocole de l'insémination artificielle chez le putois à pieds noirs	115
LE PUTOIS À PIEDS NOIRS (MUSTELA NIGRIPES), UN MODÈLE DE CONSERVATION POUR LA FAMILLE DES MUSTÉLIDÉS : INTÉRÊT DANS LE PROJET DE RÉINTRODUCTION DU VISON D'EUROPE (MUSTELA LUTREOLA)	116
BLACK-FOOTED FERRET (MUSTELA NIGRIPES), A CONSERVATION MODEL FOR THE MUSTELIDS FAMILY: INTEREST IN THE EUROPEAN MINK (MUSTELA LUTREOLA) REINTRODUCTION PROJECT	117

Liste des figures

<i>Figure 1 : Putois à pieds noirs (Mustela nigripes), par Brian Maxfield.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 2 : Les temps de divergence des Mustéloïdes (Yonezawa et al., 2007)</i>	<i>15</i>
<i>Figure 3 : Arbres consensuels¹ de Musteloidae à partir de l'inférence statistique bayésienne² de données moléculaires combinées (Law et al., 2018)</i>	<i>16</i>
<i>Figure 4 : Mustélidés ressemblant au putois à pieds noirs (N. Pipa).....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 5 : crâne et mandibule de putois à pieds noirs (Ad. S , Baca County, Colorado. DMNH 2248) (Anderson et al, 1986).....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 6 : Squelette d'un putois à pieds noirs, Mark Davis, 2022.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 7 : A, aspect ventral des viscères d'un furet in situ. B. Anatomie des viscères et des principaux vaisseaux sanguins après ablation des poumons, du foie et du tractus gastro-intestinal.</i>	<i>21</i>
<i>Figure 8 : Nouveau-nés putois à pieds noirs (Smithsonian Conservation Biology Institute, 2020)</i>	<i>23</i>
<i>Figure 9 : Répartition historique du putois à pieds noirs (vert clair), sites de réintroduction de l'espèce (points bleus) et dernière localisation de l'espèce à l'état sauvage (carré bleu) en Amérique du Nord (« Habitat and Range », 2022)</i>	<i>24</i>
<i>Figure 10 : Répartition historique du putois à pieds noirs (trait noir), des chiens de prairie à queue noire (bleu), de Gunnison (rouge) et à queue blanche (jaune) aux Etats-Unis (USFWS et Black-footed Ferret Recovery Implementation Team, 2019).</i>	<i>26</i>
<i>Figure 11 : Estimation de la répartition historique du chien de prairie à la fin des années 1880, après les campagnes d'extermination (en rouge, entre 1 et 5% de la répartition initiale), selon le modèle de Hoogland (2013).....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 12 : Répartition historique du chien de prairie dans les années 1800 (Hoogland, 2013)</i>	<i>33</i>
<i>Figure 13 : Aires de répartition historique et actuelle du putois à pieds noirs. Zones géographiques où il a été réintroduit (en vert), et où il est éteint à l'état sauvage (en rouge) (Belant et al., 2015)</i>	<i>37</i>

<i>Figure 14 : Effet de l'insémination artificielle (IA) sur la parenté moyenne individuelle et la consanguinité chez le putois à pieds noirs. La majorité des petits produits par IA à l'aide de spermatozoïdes congelés depuis 10-20 ans et leurs descendants avaient de.....</i>	38
<i>Figure 15 : Aires de répartition historique et actuelle du vison d'Europe. Zones géographiques où il est éteint (en rouge), où il réside (en marron clair), et où il réside potentiellement (en violet). (Maran et al., 2015)</i>	40
<i>Figure 16 : Statut de conservation du putois à pieds noirs (Mustela nigripes) d'après la Liste rouge de l'UICN. Les catégories décrites sont : Éteinte (EX), Éteinte à l'état sauvage (EW), En danger critique (CR), En danger (EN), Vulnérable (VU), Quasi menacée (NT).....</i>	47
<i>Figure 17 : Statut de conservation du putois à pieds noirs d'après NatureServe. Les catégories décrites à l'échelle globale sont : Présumée éteinte (GX), Possiblement éteinte (GH), Gravement en péril (G1), En péril (G2), Vulnérable (G3), Apparemment en sécurité (G).....</i>	48
<i>Figure 18 : : Femelle putois à pieds noirs relâchée à Fort Belknap en 2014 (Larry Beckner)...</i>	53
<i>Figure 19 : Aire de répartition de la population expérimentale non essentielle de putois à pieds noirs du sud-ouest de l'Arizona (SWEPA) (USFWS, 2023).</i>	55
<i>Figure 20 : Localisation géographique des sites de réintroduction du putois à pieds noirs entre 1991 et 2017 (Santymire, 2019).....</i>	57
<i>Figure 21 : Localisation géographique des sites de réintroduction du putois à pieds noirs en 2023 (« Home - blackfootedferret.org », 2023)</i>	58
<i>Figure 22 : Installations faisant partie du SSP et du programme d'élevage ex situ de putois à pieds noirs (points violets) (« Home - blackfootedferret.org », 2023)</i>	59
<i>Figure 23 : Enclos de pré-conditionnement du USFWS Black-Footed Ferret Conservation Center (Releasing Ferrets Into Their Prairie Home National Geographic, 2015)</i>	66
<i>Figure 24 : Putois à pieds noirs à l'entrée d'un terrier dans un enclos de pré-conditionnement du USFWS Black-Footed Ferret Conservation Center (Releasing Ferrets Into Their Prairie Home National Geographic, 2015)</i>	67
<i>Figure 25 : Cage de contention utilisée pour le putois à pieds noirs (USFWS, 2017)</i>	70
<i>Figure 26 : Technique d'insémination artificielle intra-utérine par laparoscopie. A, le laparoscope est utilisé pour identifier l'appareil reproducteur. B, la corne utérine est attrapée à l'aide de forceps accessoires. C, la corne est surélevée et un cathéter est passé au travers de</i>	

<i>la paroi abdominale ventrale puis inséré dans la lumière de l'utérus. D, le mandrin est retiré et un tube contenant les spermatozoïdes est inséré dans le cathéter jusque dans la lumière utérine pour le dépôt de sperme. (Howard, 1999).....</i>	<i>72</i>
<i>Figure 27 : Elizabeth Ann, le clone du putois à pieds noirs Willa (« Black-footed Ferret Project - Revive & Restore », 2023).....</i>	<i>74</i>
<i>Figure 28 : Influence de l'âge sur les échecs reproductifs chez le putois à pieds noirs adulte. Noir : testicules sous-développés, noir rayé : malposition, gris clair quadrillé : agression, blanc quadrillé : absence de sperme dans le vagin, blanc : présence de sperme dans le vagin, gris foncé quadrillé : pas de contrôle de présence de sperme. (Wolf et al., 2000)</i>	<i>78</i>
<i>Figure 29 : Examen de la vulve des femelles putois à pieds noirs dans le cadre de la détection des chaleurs, à gauche une vulve normale, à droite une vulve œdématiée signe de l'arrivée des chaleurs</i>	<i>109</i>
<i>Figure 30 : Réalisation d'un lavage vaginal chez une femelle putois à pieds noirs</i>	<i>110</i>
<i>Figure 31 : Examen cytologique vaginal d'une femelle putois à pieds noirs présentant 9% de cellules kératinisées</i>	<i>111</i>
<i>Figure 32 : Examen cytologique vaginal d'une femelle putois à pieds noirs présentant 93 à 95% de cellules kératinisées.....</i>	<i>111</i>
<i>Figure 33 : Sonde d'électro-éjaculation de 0,6cm de diamètre, utilisée chez le putois à pieds noirs</i>	<i>113</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Ectoparasites collectés sur des putois d'Amérique (Mustela nigripes) dans le bassin de Conata, Dakota du Sud, 2006-10. Prévalence (IC à 95 %) calculée comme la proportion d'individus infectés par rapport au nombre total d'individus examinés sur les sites pendant toute la durée de l'étude (n = 227) (Harris et al., 2014).</i>	31
<i>Tableau 2 : Résumé des putois à pieds noirs réintroduits dans la Wolf Creek Management Area, de 2001 à 2006 (Holmes et United States., 2008)</i>	51
<i>Tableau 3 : Nombre total de putois à pieds noirs observés dans la Wolf Creek Management Area, entre 2001 et 2006</i>	52
<i>Tableau 4 : Putois à pieds noirs produits par insémination artificielle par laparoscopie avec de la semence fraîche ou congelée. Species : espèces, sperm treatment : état du sperme, fresh : frais, thawed : congelé, pregnancies : gestations, kits : petits, litter : portée, (Howard, 1999)</i>	72

Liste des abréviations

AZGFD : Arizona Game and Fish Department = Département de la chasse et de la pêche de l'Arizona

BFF SAFE Program : Black-footed Ferret Saving Animals From Extinction (BFF SAFE) Program = Programme de sauvetage des animaux en voie d'extinction du Putois à pieds noirs

BTPD : black-tailed prairie dog = chien de prairie à queue noire (Figure 19)

CD17 : Conseil départemental de Charente-Maritime

CDOW : Colorado Division of Wildlife = Division pour la Faune sauvage du Colorado

CR : espèce en danger critique dans la Liste rouge de l'UICN

DD : espèces aux données insuffisantes dans la Liste rouge de l'UICN

EN : espèce en danger dans la Liste rouge de l'UICN

ESA : Endangered Species Act = Acte pour les Espèces en Danger

EX : espèce éteinte dans la Liste rouge de l'UICN

EW : espèce éteinte à l'état sauvage dans la Liste rouge de l'UICN

GPD : Gunnison's prairie dog = chien de prairie de Gunnison (Figure 19)

Ha : hectare

IUCN = UICN : International Union for Conservation of Nature = Union Internationale pour la Conservation de la Nature

LC : espèce en préoccupation mineure dans la Liste rouge de l'UICN

LPO : Ligue pour la Protection des Oiseaux

Ma : Millions d'années

NBFFCC : National Black-footed Ferret Conservation Center = Centre National de Conservation du Putois à pieds noirs

NE : espèce non évaluée dans la Liste rouge de l'UICN

NT : espèce quasi menacée dans la Liste rouge de l'UICN

OFB : Office Français pour la Biodiversité

PNA : Plan National d'Action

SAFE : Saving Animals From Extinction Program = Programme de sauvetage des animaux en voie d'extinction

SSP : Survival Species Program = Programme de Survie de l'Espèce

TESF : Turner Endangered Species Fund's = Fond Turner pour les Espèces en Danger

UDWR : Utah Division of Wildlife Resources = Division des ressources de la Faune sauvage de l'Utah

USFWS : U.S Fish and Wildlife Service = Service de la pêche et de la faune des États-Unis

USFS : US Forest Service = Service des forêts des États-Unis

USBLM : US Bureau of Land Management = Bureau de gestion des terres des États-Unis

USNPS : US National Park Service = Service des parcs nationaux des États-Unis

VU : espèce vulnérable dans la Liste rouge de l'UICN

WBFWG : Wyoming Black-footed Ferret Working Group = Groupe de travail pour le putois à pieds noirs du Wyoming

WGFD : Wyoming Game and Fish Department = Département de la chasse et de la pêche du Wyoming

WTPD : white-tailed prairie dog = chien de prairie à queue blanche (Figure 19)

WWF : World Wildlife Fund = Fond mondial pour la nature

Introduction

En 2022, ce ne sont pas moins de 8 056 nouvelles espèces qui ont été ajoutées à la Liste rouge de l'UICN, pour un total de 150 388 espèces dont plus de 42 000 d'entre elles sont actuellement menacées d'extinction (International Union for Conservation of Nature, 2022).

Parmi ces dernières nous pouvons retrouver le vison d'Europe (*Mustela lutreola*), un petit carnivore semi-aquatique appartenant à la famille des Mustélidés. Anciennement classé dans la catégorie des animaux « En danger » de la Liste rouge de l'UICN, il est passé dans la catégorie « En danger critique d'extinction » en 2011 (Maran *et al.*, 2016). Il a par la suite rejoint les listes rouges française en 2017, et européenne en 2012 (International Union for Conservation of Nature, 2022). Pour l'Union Européenne, il est considéré comme une espèce à protéger en priorité. Il appartient aux annexes II et IV de la Directive Européenne « Habitats Faune Flore » du 21 mai 1992 (Conseil de l'Union Européenne, 1992) et à l'annexe II de la Convention de Berne du 19 septembre 1979 (Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe (1979), 1979). En France, il fait partie de l'article 1^{er} de la liste des « Espèces de vertébrés protégées menacées d'extinction en France et dont l'aire de répartition excède le territoire d'un département » (MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, 1999), et de l'article 2 de la liste des « Mammifères terrestres protégés sur l'ensemble du territoire français et les modalités de leur protection » (MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, 2007). Toutes ces mesures imposent une protection stricte de l'espèce dans son aire de répartition naturelle afin de contribuer au rétablissement du vison d'Europe dans un état de conservation favorable, son état de conservation en région atlantique étant actuellement « défavorable mauvais ».

Afin d'endiguer la diminution du nombre d'individus, différents programmes de conservation et d'étude ont été mis en place au cours des dernières années comme l'établissement d'un programme européen pour les espèces menacées (EEP) ainsi que la réalisation de plusieurs thèses d'exercice vétérinaire récemment publiées.

Dans la continuité de ces récents travaux, un programme de développement de l'insémination artificielle chez le vison d'Europe a vu le jour grâce au financement du ministère de l'Écologie. Ce projet, en partenariat avec l'Office Français de la Biodiversité (OFB), devait faire l'objet d'étude de cette thèse vétérinaire. Malheureusement, les démarches administratives ayant pris du retard, il fut alors convenu que ce travail se tournerait vers l'étude du putois à pieds noirs (*Mustela nigripes*), aussi appelé furet à pieds noirs ou putois d'Amérique, un mustélide d'Amérique du Nord ayant frôlé l'extinction au siècle dernier.

Considéré comme éteint dans les années 50, quelques rares individus furent retrouvés en 1964 puis en 1981, et grâce à la forte mobilisation des services nord-américains de protection et conservation de la nature, à ce jour la population réintroduite à l'état sauvage compte plus de 300 putois pieds à pieds noirs (« Black-footed Ferret, Species - Revive & Restore », 2023). De ce fait, il est intéressant d'étudier les mesures mises en place pour la sauvegarde de cette espèce, notamment l'utilisation de la reproduction assistée comme moyen d'accroissement de la population et de conservation du patrimoine génétique, dans le cadre d'une application de ces techniques à la sauvegarde du vison d'Europe.

Cette thèse bibliographique portera sur le putois à pieds noirs, qui représente actuellement un modèle de conservation pour la famille des Mustélidés, et particulièrement pour le vison d'Europe, ces deux espèces étant très proches phylogénétiquement.

Une première partie s'intéressera à réaliser un état des lieux des connaissances phylogénétiques, anatomiques, physiologiques, écologiques du putois à pieds noirs avec pour comparaison le vison d'Europe. Les principales menaces seront décrites et son statut de conservation sera détaillé. Une deuxième partie étudiera ce dernier comme un exemple de modèle pour la conservation du vison d'Europe, ainsi les programmes de conservations seront étudiés sous différents aspects afin d'explicitier leur organisation, leurs objectifs et leurs résultats dans le but d'appliquer leurs réussites au futur programme de reproduction assistée du vison d'Europe.

Première partie : Biologie et écologie du putois à pieds noirs

Le putois à pieds noirs est la seule espèce de putois endémique de l'Amérique du Nord. L'étude de la relation phylogénétique de ce dernier au sein de la famille des Mustélidés est primordiale pour comprendre ses liens évolutifs avec les autres Mustélidés. De nombreux efforts de conservation ont été menés afin de préserver cette espèce en voie d'extinction, menacée par des épidémies, la diminution du nombre de proies, ou bien encore la destruction de son habitat.

I. Présentation du putois à pieds noirs *Mustela nigripes*

a. Classification phylogénétique du putois à pieds noirs

i. La famille des *Mustelidae*

La famille des Mustélidés a été décrite pour la première fois par le naturaliste russe Johann Gotthelf Fischer von Waldheim en 1817 (« ITIS - Report: *Mustela nigripes* », 2023). Bien que de nombreuses études aient été menées pour établir la taxonomie précise de celle-ci, aucun consensus n'a pu être établi à ce jour. Il semblerait que la famille des Mustélidés provienne de la superfamille des Mustéloïdes qui aurait émergé entre -32,4 et -30,9 millions d'années (Ma) en Asie et qui se serait divisée en quatre groupes au fil des vagues de migration : les *Mephtidae* (les mouffettes), les *Ailuridae* (le panda roux), les *Procyonidae* (les ratons laveurs) et les *Mustelidae* (les belettes) (Miller et Fowler, 2015 ; Yonezawa *et al.*, 2007). Cette dernière se serait formée entre -20,21 +/- 1,43 Ma et 9,12 +/- 1,14 Ma en Amérique du Nord avant de migrer vers l'Eurasie (Baskin et Tedford, 1996 ; Yonezawa *et al.*, 2007).

Les Mustélidés se décomposent actuellement en 4 à 8 sous-familles distinctes selon les auteurs (Koepfli *et al.*, 2008 ; Law *et al.*, 2018 ; Miller et Fowler, 2015 ; Sato *et al.*, 2012 ; Yonezawa *et al.*, 2007) : les *Taxideinae* (le blaireau d'Amérique (*Taxidea taxus*)), les *Mellivorinae* (le ratel (*Mellivora capensis*)), les *Melinae* (les blaireaux eurasiatiques), les *Guloninae* (le glouton (*Gulo gulo*), les martes), les *Helictidinae* (les hélicres), les *Ictonychinae* (les grisons, certains putois et fouines), les *Mustelinae* (les belettes, visons, furets et certains putois) et les *Lutrinae* (les loutres)(cf. Figure 2).

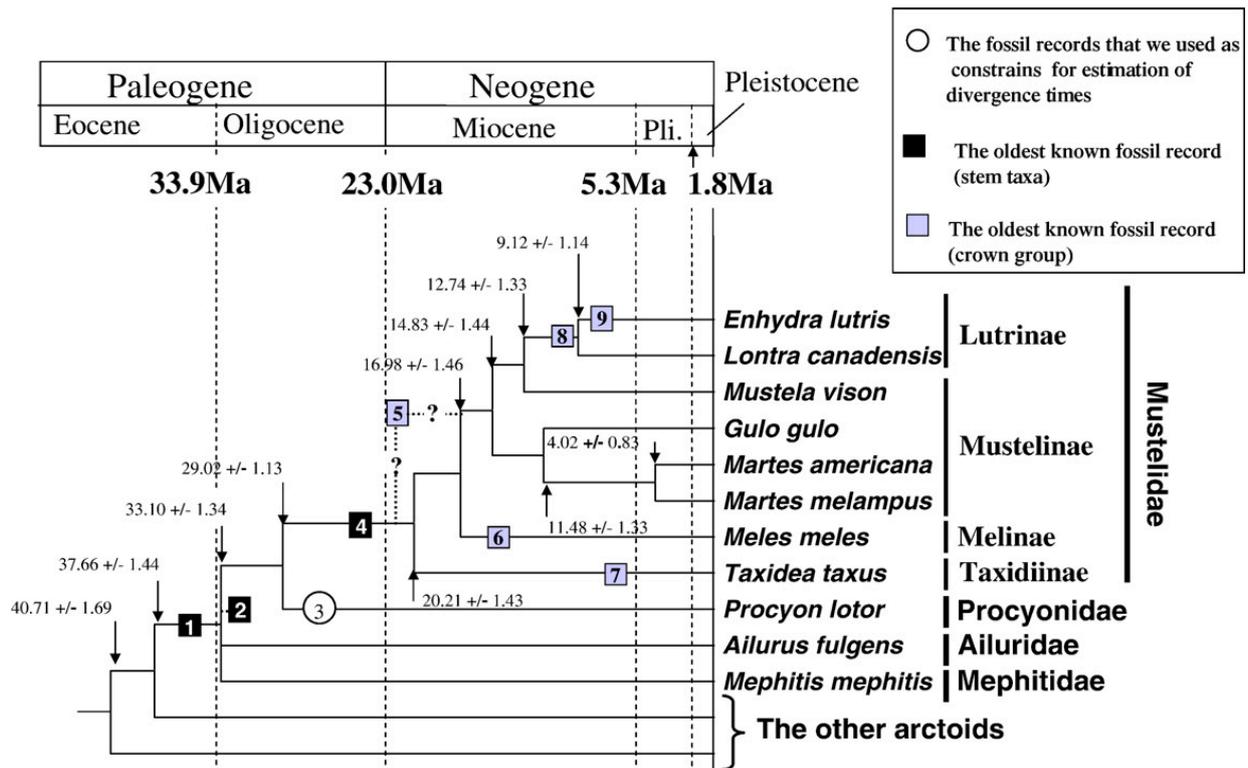


Figure 2 : Les temps de divergence des Mustéloïdes (Yonezawa et al., 2007)

La famille des Mustéloïdes regrouperait aujourd'hui 85 espèces rassemblées en 33 genres différents selon Law et al. (2018)(cf. Figure 3). Cela fait donc d'elle l'une des familles les plus riches et diversifiées puisqu'elle comprendrait environ 30% des carnivores existants actuellement sur Terre (Sato et al., 2012). Elle est très largement distribuée puisqu'on la retrouve sur tous les continents à l'exception de l'Australie, de l'Antarctique, des Antilles, de Madagascar, de la Nouvelle Guinée, ainsi que de la majorité de l'Indonésie et des îles Philippines (Miller et Fowler, 2015 ; Yonezawa et al., 2007).

Les Mustéloïdes forment une famille de mammifères carnivores de taille et de poids variables : d'une dizaine de centimètres pour la belette d'Europe (*Mustela nivalis*) (« *Mustela nivalis* Linnaeus, 1766 - Belette d'Europe, Belette », INPN, s. d.) à 1m80 pour la loutre géante (*Pteronura brasiliensis*) (Groenendijk et al., 2014), et de moins de cent grammes toujours pour la belette d'Europe à 45kg pour la loutre de mer (*Enhydra lutris*) (OCÉANOPOLIS - BREST'AIM, 2023). Ils sont reconnus pour leur corps allongé, leurs dents aiguës, leur caractère joueur et leur intelligence particulière, avec par exemple l'utilisation d'outils tels que des pierres dont la loutre de mer se sert afin d'ouvrir la coquille des crustacés dont elle se nourrit.

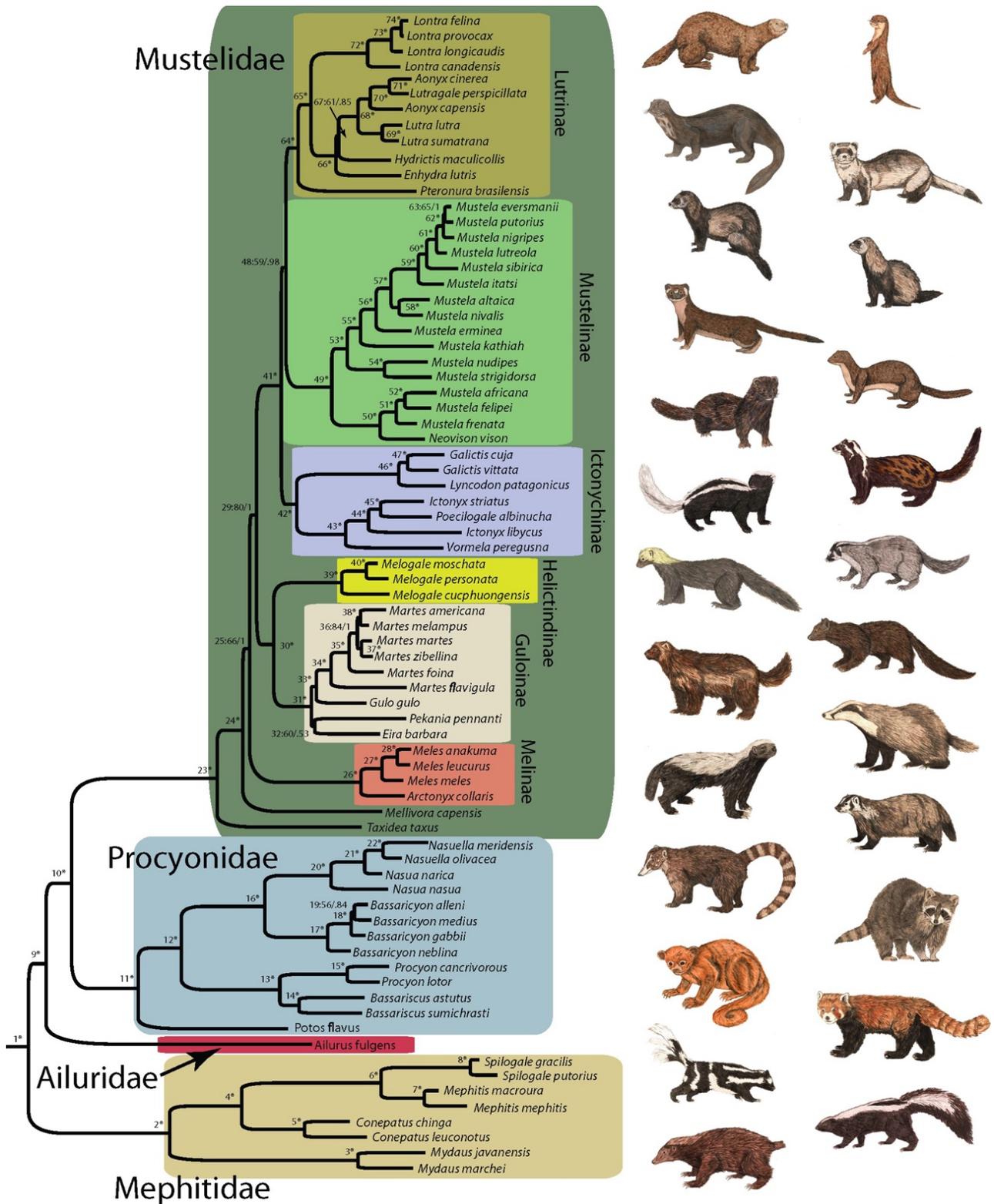


Figure 3 : Arbres consensuels¹ de Musteloidae à partir de l'inférence statistique bayésienne² de données moléculaires combinées (Law et al., 2018)

¹Arbre élaboré selon un accord général de la communauté scientifiques.

²L'inférence bayésienne est une méthode d'inférence statistique par laquelle on calcule les probabilités de diverses causes hypothétiques à partir de l'observation d'événements connus.

ii. La sous-famille des *Mustelinae*

La sous-famille des Mustélinés, communément reconnue comme le groupe des « belettes » comprend deux genres : le genre *Mustela*, regroupant le plus d'espèces, et le genre *Neovison*. Selon l'ITIS (2018) et l'IRMNG (2011), le genre *Mustela* comporte 18 espèces si l'on met de côté le vison d'Amérique qui est aujourd'hui reconnu comme le seul représentant du genre *Neovison*. Le nombre de sous-espèces serait de 158, mais ce dernier serait variable selon les différents sites de référence évoqués précédemment.

Ainsi, le putois à pieds noirs, le vison d'Europe et le furet domestique (*Mustela putorius furo*) font partie du même genre, le genre *Mustela* (cf. Figure 3.). Des analyses moléculaires ont démontré la proximité génétique du putois à pieds noirs avec le furet domestique (U.S. Fish and Wildlife Service, 2017). De même, le vison d'Europe serait très proche du furet domestique et partagerait avec de dernier plus de 99% de son patrimoine génétique (Kurose *et al.*, 2008). Il est donc pertinent d'étudier le putois à pieds noirs comme modèle de conservation pour le vison d'Europe. De plus, ces éléments scientifiques justifient l'intérêt du furet domestique comme substitut aux expérimentations menées dans le cadre des opérations de conservation de ces deux espèces menacées que sont le putois à pieds noirs et le vison d'Europe.

b. Anatomie du putois à pieds noirs

i. Portrait

Le putois à pieds noirs est un petit prédateur nord-américain souvent confondu avec le putois des steppes (*Mustela eversmannii*), dont il est très proche physiquement (cf. Figure 4) et phylogénétiquement, bien que ce dernier se rencontre en Europe et en Asie (de la République Tchèque à la Chine) (Maran *et al.*, 2015).

Il présente un poil de bourre blanc crème et un poil de jarre sable. Le poil recouvrant les extrémités est quant à lui brun foncé, tout comme le masque complet caractéristique qui entoure ses yeux. Il possède de petits yeux noirs qui se fondent dans son masque facial. Ainsi, seuls le pourtour du museau, les oreilles, la gorge et le début de la queue sont blancs.

Le poids des adultes varie entre 750g et 1,2kg pour une longueur d'environ 50 cm, à laquelle s'ajoute une queue pouvant faire jusqu'à 15cm (Franke, 2010).

Mustélidés ressemblant au putois à pieds noirs



Sources : 1 – US Fish & Wildlife Services ; 2 – Bigstock ; 3 – Fandom ; 4 – Wikipédia ; 5 – Wikipédia

Figure 4 : Mustélidés ressemblant au putois à pieds noirs (N. Pipa)

ii. Anatomie musculosquelettique

Le putois à pieds noirs est un carnivore strict. Il possède un crâne relativement court, mais large, avec de grandes apophyses postorbitales et des arcades zygomatiques évasées. Le rostre est court et légèrement convexe. La bulle tympanique est obliquement aplatie et la région basi-occipitale est étroite. Chez les mâles, les apophyses mastoïdes sont anguleuses et saillantes. Le putois à pieds noirs présente un tube bien défini entourant le foramen ovale contrairement aux visons qui en sont dépourvus. La crête sagittale se développe à partir de 6 mois, devient bien définie à 1 an puis s'aplatit, ce qui permet d'estimer l'âge des individus.

La mandibule est relativement courte et épaisse. La fosse massétérique s'étend jusqu'au milieu de M1. Les foramens mentonniers sont au nombre de 4 et se trouvent sous P2-3 et P3-4 (Anderson *et al.*, 1986). Le putois à pieds noirs possède 34 dents, réparties selon la formule dentaire suivante : I3/3, C1/1, P3/3, M1/2 (cf. Figure 5). Les dents carnassières sont bien développées et la première molaire est en forme de sablier (Emily et Eisner, 2020). Les Mustélidés possèdent de puissants muscles masticateurs. Les muscles masséters et temporaux sont les plus développés (Quesenberry et Carpenter, 2012 ; Scheidecker, 2012).

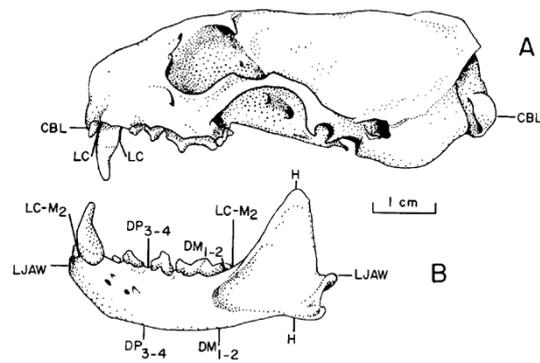


Figure 5 : crâne et mandibule de putois à pieds noirs (Ad. S , Baca County, Colorado. DMNH 2248) (Anderson et al, 1986)

Comme la plupart des Mustélinés, il possède un corps fin longiligne et une colonne vertébrale souple lui permettant de s'introduire dans des endroits étroits et d'y effectuer des rotations à 180°. Sa colonne présente 48 vertèbres : 7 cervicales, 15 thoraciques, 5 lombaires, 3 sacrées et 18 coccygiennes (cf. Figure 6). Les pattes sont courtes, elles portent 5 doigts aux griffes non rétractiles. Le putois à pieds noirs est un mustéliné aux caractéristiques physiques peu spécifiques, ses os longs sont relativement courts, robustes, le processus olécranien est allongé, ce qui est compatible avec la nage, le forage et la locomotion terrestre (Kilbourne, 2017). L'os pénien est similaire à celui du vison avec une extrémité distale recourbée vers l'arrière.



Figure 6 : Squelette d'un putois à pieds noirs, Mark Davis, 2022

Le putois à pieds noirs fait partie des Mustélidés « généralistes », il présente une locomotion majoritairement terrestre. Ses membres doivent ainsi faire face à des contraintes gravitationnelles et d'inertie. Le tibia et la fibula sont, de manière respective, significativement plus courts et plus étroits que chez les espèces adaptées à la nage. Le ratio de taille fémur-humérus est plus faible que chez les espèces fouisseuses, de même le ratio de taille fibula-ulna est plus faible en région proximale que chez les espèces fouisseuses et celles adaptées à la nage (Parsi-Pour et Kilbourne, 2020). Ces caractéristiques physiques coïncident avec les forces auquel est soumis le squelette selon le mode de vie de ces espèces. Ainsi les études de Kilbourne (Kilbourne, 2017 ; Kilbourne et Hutchinson, 2019 ; Parsi-Pour et Kilbourne, 2020) ont démontré que la famille des Mustélidés représentait un bel exemple d'évolution adaptative avec des espèces aux caractéristiques physiques significativement différentes et adaptées à leur environnement.

iii. Anatomie interne

Les Mustélidés possèdent une anatomie interne semblable à celle des autres carnivores. Aucun travail n'a clairement établi l'anatomie interne spécifique du putois à pieds noirs, nous nous référerons donc à l'anatomie du furet domestique, très proche phylogénétiquement du putois à pieds noirs et dont de nombreux travaux en ont détaillé l'anatomie (cf. Figure 7). L'estomac est simple, en forme de J, avec un cardia, un corps, un fundus et un pylore. Il peut contenir jusqu'à 50mL/kg chez le furet. Les petits et gros intestins sont simples, similaires à ceux des carnivores. Le foie est large et présente six lobes, le pancréas présente une forme de V et possède deux lobes. Les reins ont une forme de haricot et se trouvent dans la cavité rétropéritonéale. La vessie est relativement petite mais possède une grande capacité d'extension et peut contenir jusqu'à 10mL. Le cœur se trouve dans la partie caudale du thorax, et les poumons sont particulièrement longs du fait de la forme allongée de ce dernier. Les organes sexuels mâles et femelles sont identiques à ceux du reste des carnivores, à l'exception de la prostate qui est la seule glande reproductive accessoire chez le furet mâle (Quesenberry et Carpenter, 2012).

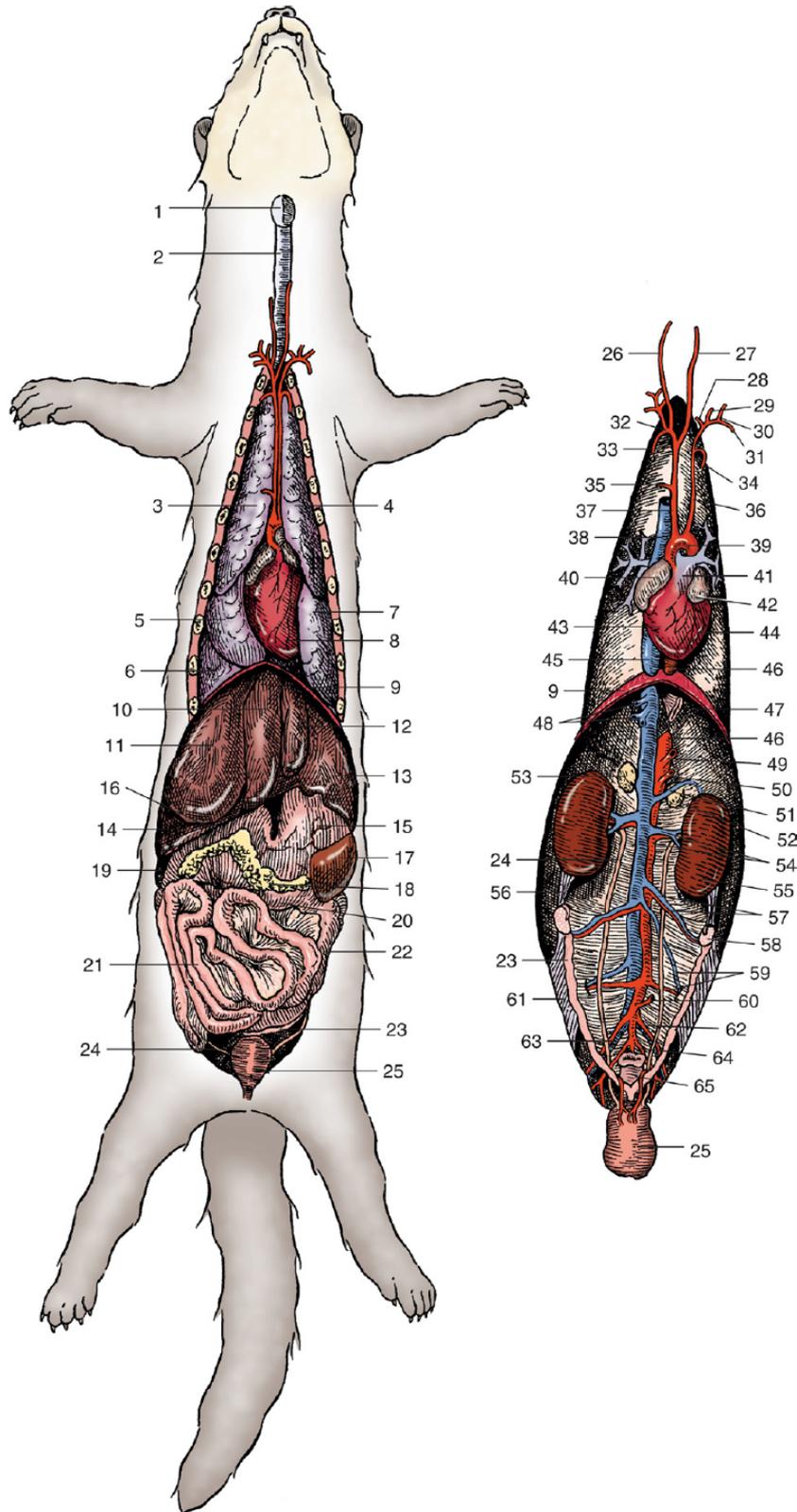


Figure 7 : A, aspect ventral des viscères d'un furet in situ. B. Anatomie des viscères et des principaux vaisseaux sanguins après ablation des poumons, du foie et du tractus gastro-intestinal.

1, larynx ; 2, trachée ; 3, lobe crânien droit du poumon ; 4, lobe crânien gauche du poumon ; 5, lobe moyen droit du poumon ; 6, lobe caudal droit du poumon ; 7, lobe caudal gauche du poumon ; 8, cœur ; 9, diaphragme ; 10, lobe quadratique du foie ; 11, lobe médian droit du foie ; 12, lobe médian gauche du foie ; 13, lobe latéral gauche du foie ; 14, lobe latéral droit du foie ; 15, estomac ; 16, rein droit ; 17, rate ; 18, pancréas ; 19, duodénum ; 20, côlon transverse ; 21, jéjuno-iléon ; 22, côlon descendant ; 23, utérus ; 24, uretère ; 25, vessie ; 26, artère carotide commune droite ; 27, artère carotide commune gauche ; 28, artère vertébrale ; 29, artère costocervicale ; 30, artère cervicale superficielle ; 31, artère axillaire ; 32, artère sous-clavière droite ; 33, artère thoracique interne droite ; 34, artère thoracique interne gauche ; 35, branche du thymus ; 36, artère sous-clavière gauche ; 37, artère brachio-céphalique (innominée) ; 38, veine cave crânienne ; 39, arc aortique ; 40, oreillette droite ; 41, tronc pulmonaire ; 42, oreillette gauche ; 43, ventricule droit ; 44, ventricule gauche ; 45, veine cave caudale ; 46, aorte ; 47, œsophage ; 48, veines hépatiques ; 49, artère coéliqua ; 50, artère mésentérique crânienne ; 51, veine adrénolombaire gauche ; 52, glande surrénale gauche ; 53, glande surrénale droite ; 54, artère et veine rénales gauches ; 55, rein gauche ; 56, ligament suspenseur de l'ovaire ; 57, artère et veine ovariennes gauches ; 58, ovaire gauche ; 59, artère et veine iliaque circonflexe profonde gauche ; 60, artère mésentérique caudale ; 61, ligament large de l'utérus ; 62, artère iliaque externe gauche ; 63, veine iliaque commune droite ; 64, artère iliaque interne gauche ; 65, rectum. (Adapté de An NQ, Evans HE. Anatomy of the ferret. In : Fox JG, ed. Biology and diseases of the ferret. Philadelphie : Lea & Febiger ; 1988 : 14). (Quesenberry et Carpenter, 2012)

c. Reproduction et comportement

i. Physiologie de la reproduction

Comme de nombreux mammifères, les Mustélinés ont une reproduction saisonnée axée sur les jours longs, c'est-à-dire débutant lorsque la photopériode s'accroît ce qui donne des naissances dans le courant du printemps. Le putois à pieds noirs atteint la maturité sexuelle autour d'un an.

Chez la femelle, le pro-œstrus dure deux à trois semaines et l'œstrus entre 32 et 42 jours, ce dernier se caractérise physiquement par un gonflement vulvaire. Les femelles sont majoritairement fécondées dans les 20 premiers jours de chaleurs. Dans le cas où la femelle n'aurait pas été fécondée, elle peut présenter un deuxième cycle de chaleur, mais ce dernier se solde souvent en pseudogestation d'après les résultats des programmes de reproduction. Chez le mâle, les testicules ne sont apparents que lors de la période de reproduction. Leur taille et leur consistance augmentent lors de cette période. La fécondité des individus diminue après plusieurs années : après quatre ans pour les femelles et après cinq ans pour les mâles. Il est donc important de réussir à obtenir des petits avant cet âge (Wolf *et al.*, 2000a).

La période de reproduction débute en janvier (blackfootedferret.org, 2023a) et se prolonge jusqu'à avril, avec un pic d'activité en février (Richardson *et al.*, 1987 ; U.S. National Park Service, 2020 ; Vargas et Anderson, 1996). L'activité des putois s'accroît ce qui se traduit par une augmentation des distances parcourues et un élargissement des zones d'activités. Un pic des comportements de marquage est observé au mois de février. L'ovulation est induite par l'accouplement qui a lieu à l'intérieur des terriers. La gestation dure entre 42 et 45 jours et les portées peuvent contenir jusqu'à 7 petits, avec une moyenne de 3,5 petits par portée.

Les femelles établissent leur tanière dans les terriers de chiens de prairie (U.S. Fish and Wildlife Service, 2013).

ii. Développement des petits

Les petits naissent avec une peau très rose, un fin manteau de poils blancs, un museau et le pourtour des yeux noirs (cf. Figure 8). Le pelage se colore et devient plus fourni dès 2 à 3 jours après la naissance, et le masque facial typique de cette espèce devient visible dès 16 à 18 jours. Le museau et les coussinets sont nus, les yeux et le conduit auditif sont clos, les oreilles sont repliées. Les oreilles s'ouvrent en moyenne au 33^e jours et se redressent 2 à 3 jours pour acquérir leur position définitive. Les yeux s'ouvrent entre le 34^e et le 37^e jours. Les mouvements se font grâce à l'utilisation de leurs membres antérieurs qui sont les plus puissants, contrairement à leur arrière-train qui est très faible à la naissance. Les femelles atteignent 95% de leur poids adulte au bout de 15 semaines contre 18 semaines pour les mâles (Vargas et Anderson, 1996).



Figure 8 : Nouveau-nés putois à pieds noirs (Smithsonian Conservation Biology Institute, 2020)

iii. Comportement

Le putois à pieds noirs est un petit carnivore fouisseur nocturne, et solitaire en dehors des périodes de reproduction et d'élevage des petits. Occasionnellement, plusieurs familles peuvent occuper la même zone géographique, mais la nature territoriale et solitaire de cette espèce limite leur densité même si la densité de proies est élevée dans cette même zone (Tuckwell et Everest, 2009).

d. Niche écologique du putois à pieds noirs

i. Aire de répartition et habitat

Le putois à pieds noirs est endémique de l'Amérique du Nord et se retrouvait historiquement dans 12 états des Etats-Unis d'Amérique : en Arizona (AZ), au Colorado (CO), au Kansas (KS), au Montana (MT), au Nebraska (NE), au Nouveau Mexique (NM), au Dakota du Nord (ND), au Dakota du Sud (SD), en Oklahoma (OK), au Texas (TX), en Utah (UT) et au Wyoming (WY), ainsi que dans l'État mexicain de Chihuahua (U.S. Fish and Wildlife Service, 1996), et les provinces canadiennes du Saskatchewan et de l'Alberta (Tuckwell et Everest, 2009)(cf. Figure 9).

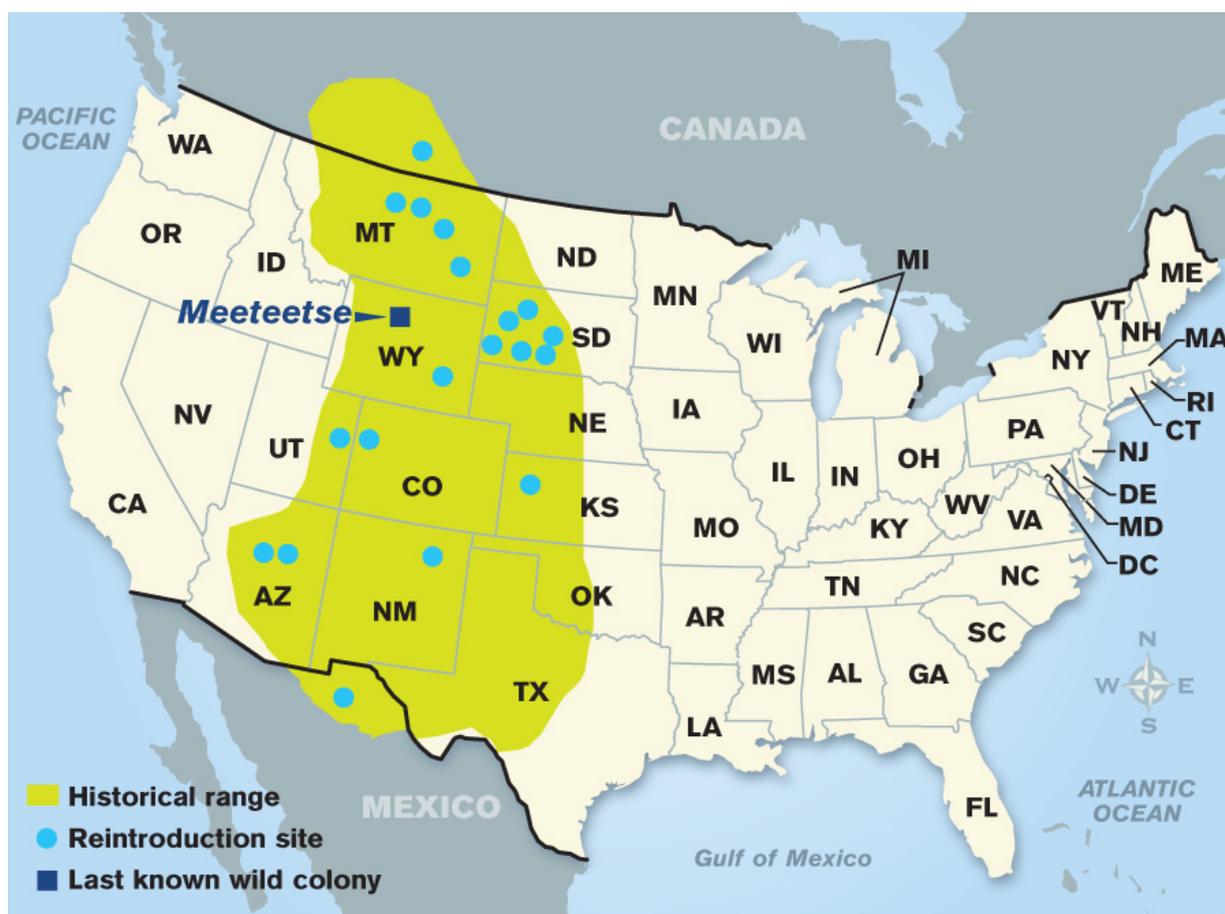


Figure 9 : Répartition historique du putois à pieds noirs (vert clair), sites de réintroduction de l'espèce (points bleus) et dernière localisation de l'espèce à l'état sauvage (carré bleu) en Amérique du Nord (« Habitat and Range », 2022)

Il habite les grandes plaines, les bassins montagneux et les prairies semi-arides d'Amérique du Nord aussi appelés communément « Badlands », signifiant « mauvaises terres » du fait du caractère peu propice au développement de l'agriculture au sein de ces

écosystèmes (U.S. National Park Service, 2020). Ces prairies se composent surtout d'herbes, de plantes herbacées et de graminées. Il existe une forte pression sur la végétation du fait de la présence de troupeaux d'élevage et des chiens de prairie (Hillman, 1968). L'aire de répartition du putois à pieds noirs se superpose à celles du chien de prairie à queue noire (*Cynomys ludovicianus*), du chien de prairie à queue blanche (*C. leucurus*) et du chien de prairie de Gunnison (*C. gunnisonii*) dont il habite les galeries (cf. Figure 10). En effet le putois à pieds noirs ne creuse pas ses propres galeries mais s'installe dans celles creusées par les chiens de prairies (Richardson *et al.*, 1987). Ces galeries sont dénommées « villes » car elles présentent une organisation très structurée avec des espaces tels que des nurseries, des dortoirs... Les putois déterminent les villes qu'ils occupent selon la taille de celles-ci, en effet un putois seul habitera une ville d'environ 8 à 15 hectares (ha), tandis qu'une femelle et sa portée pourra habiter des villes de 30 à 40 ha en moyenne (Hillman, 1968). Par ailleurs, ce choix dépend aussi de l'aspect du terrier. D'après Richardson *et al.* (1987), les terriers avec une entrée de petite taille et sans monticule devant sont préférés comme abris (choisis dans 50% des cas) aux terriers avec une petite entrée et un monticule (39%), une entrée plus grande, avec ou sans monticule (7% et 3%) et aux terriers de petits rongeurs ou lagomorphes (1%). Il est fort probable que les terriers de petite taille soient préférés du fait de leur difficulté d'accès pour les prédateurs du putois à pieds noirs. Cependant, des terriers de trop petite taille ne sont que très rarement utilisés par le putois à pieds noirs car ils nécessitent de creuser pour y entrer. Cette étude a aussi montré que les terriers présentant un monticule étaient moins explorés, mais à l'inverse souvent utilisés comme promontoire, permettant ainsi d'avoir une meilleure vue du territoire environnant.

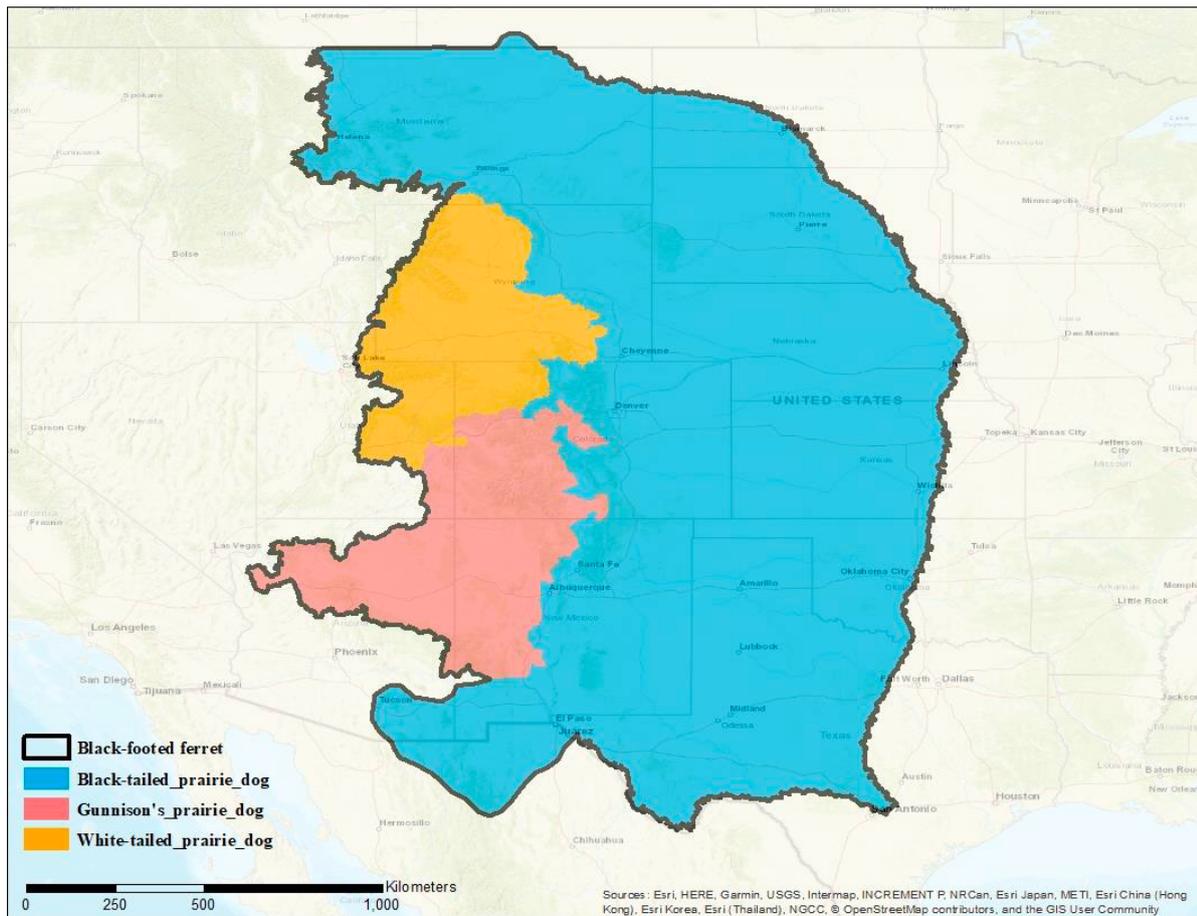


Figure 10 : Répartition historique du putois à pieds noirs (trait noir), des chiens de prairie à queue noire (bleu), de Gunnison (rouge) et à queue blanche (jaune) aux Etats-Unis (USFWS et Black-footed Ferret Recovery Implementation Team, 2019).

e. Régime alimentaire

Le putois à pieds noirs a longtemps été vu comme se nourrissant seulement de chiens de prairie et occasionnellement de petits mammifères tels que le spermophile ligné (*Ictidomys tridecemlineatus*), le gaufre brun (*Geomys bursarius*), la souris cerf (*Peromyscus spp.*), le lapin à queue blanche (*Sylvilagus floridanus*), la maubèche des champs (*Bartramia longicauda*), l'alouette hausse-col (*Eremophila alpestris*), ou bien encore la sturnelle de l'ouest (*Sturnella neglecta*) (Hillman, 1968). Une étude plus récente a démontré que ces proies occasionnelles représentaient en réalité une part non négligeable du régime alimentaire de cette espèce, et que cette part variait selon l'âge et le sexe des individus. En effet, les chiens de prairie composent environ 75% du régime alimentaire des mâles adultes et juvéniles tandis qu'ils ne représentent qu'environ 60% du régime alimentaire des femelles (Brickner *et al.*, 2014). Le

putois à pieds noirs est donc un spécialiste facultatif selon la densité des proies présentes sur son territoire.

f. Activités et relations avec le milieu

Le putois à pieds noirs dort environ 21 heures par jour (U.S. National Park Service, 2020), le reste du temps étant essentiellement consacré à la traque et à la chasse des chiens de prairie, sa proie principale. En effet d'après Biggins *et al.* (2012), il consacre en moyenne 25% de son temps à creuser les terriers de ces derniers pour les déloger, et le temps consacré à cette activité augmenterait en période hivernale. La répartition précise du budget-temps chez le putois à pieds noirs à l'état sauvage n'a pas été clairement établi du fait de son mode de vie majoritairement sous-terrain. Il passe la plupart de son temps dans les terriers et ne sort que pour en rejoindre un nouveau (blackfootedferret.org, 2023b).

La taille des territoires occupés est significativement différente entre les mâles et les femelles. En moyenne, les femelles occupent un territoire centré sur 65 ha, contre 130 ha pour les mâles. Bien que leur aire d'activité soit plus grande que le noyau sur lequel elle est centrée, il ne diffère pas significativement d'un sexe à l'autre (Livieri, 2007). Différentes études ont montré que les territoires occupés par des individus de même sexe ou bien de sexe opposé pouvaient se chevaucher dans le cadre de patrouille ou de recherche d'un partenaire sexuel (Eads *et al.*, 2014 ; Richardson *et al.*, 1987).

Le putois à pieds noirs fait partie de « l'écosystème prairie » au sein duquel il est à la fois un prédateur, pour les chiens de prairie et autres petits mammifères, mais aussi une proie, pour l'aigle royal (*Aquila chrysaetos*), le grand-duc d'Amérique (*Bubo virginianus*), le coyote (*Canis latrans*), le blaireau d'Amérique et le lynx roux (*Lynx rufus*) (U.S. National Park Service, 2020).

Ainsi, le putois à pieds noirs est un petit mustélide natif de l'Amérique du Nord mais surtout de la région des Grandes Plaines des Etats-Unis d'Amérique. Son anatomie est assez semblable à celle du furet et il présente un régime alimentaire majoritairement spécifique du chien de prairie. Au-delà de son importance dans l'alimentation du putois à pieds noirs, le chien de prairie est aussi très essentiel à l'habitat du putois à pieds noirs puisqu'il lui construit les terriers qui l'abritent. Bien que passant une grande partie de son temps à dormir, le putois à pieds noirs a un comportement de chasse et d'exploration très développé et il peut occuper de manière quotidienne un large territoire.

II. Le putois à pieds noirs, une espèce menacée d'extinction

Le putois à pieds noirs était supposé éteint à la fin des années 1950, et l'a été officiellement en 1979 après la mort des derniers individus détenus en captivité. Nous détaillerons ici les raisons et l'évolution chronologique de ce déclin.

a. Les menaces indépendantes de l'être humain

La peste sylvatique et la maladie de Carré sont les deux affections ayant eu l'impact le plus important sur la dynamique de la population de putois à pieds noirs. En effet, leur virulence et leur forte contagiosité sont des facteurs déterminant à l'origine du déclin de l'espèce et de ses proies. Les autres affections détaillées ci-dessous sont d'importance moindre concernant le déclin de la population.

i. Affections graves touchant le putois à pieds noirs

□ La peste selvatique

La peste selvatique est une maladie infectieuse bactérienne causée par *Yersinia pestis* et qui est transmise par les puces. Elle peut se présenter sous trois formes : la peste bubonique, la peste pneumonique et la peste septicémique. La peste bubonique qui est la forme la plus répandue se caractérise par une forte inflammation des ganglions lymphatiques. La peste pneumonique, se caractérise comme son nom l'indique par une forte atteinte pulmonaire, il peut s'agir d'une forme primaire comme d'une forme secondaire car elle peut être une complication de la peste bubonique. La peste septicémique provoque une infection généralisée avec des hémorragies. Il peut s'agir là aussi d'une complication de la peste bubonique (Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 2023 ; Prentice et Rahalison, 2007). Elle touche de nombreux mammifères dont l'homme, mais aussi le putois à pieds noirs (Williams *et al.*, 1994) et le chien de prairie (Biggins et Kosoy, 2001). Chez le putois à pieds noirs, elle se manifeste par des hémorragies aiguës et diffuses, accompagnées de foyers de nécrose. Un œdème pulmonaire est aussi rapporté. De plus, elle est à l'origine du déclin de la population du chien de prairie avec un taux de mortalité compris entre 85 et 100% au sein des colonies (Cully et Williams, 2001), voire 99 à 100% selon une étude un peu plus ancienne (Cully *et al.*, 1997). De nombreuses épizooties ont eu lieu depuis les années 1980 en Amérique du Nord, et plus particulièrement entre les années 1980 et 2000 (Cully *et al.*, 2010, 1997).

En décimant la population de chiens de prairie, la peste selvatique participe fortement au déclin du putois à pieds noirs en Amérique du Nord. Elle possède donc un impact indirect important sur la dynamique de la population de putois à pieds noirs. De ce fait de nombreux projets de lutte contre les puces et de vaccination des chiens de prairie ont été mis en place afin d'endiguer l'épidémie. Ce point sera développé dans la seconde partie de cette étude.

□ La maladie de Carré

La maladie de Carré a été découverte en 1905 par Henri Carré. C'est une maladie infectieuse très virulente causée par un paramyxovirus du genre Morbillivirus. Elle présente une répartition mondiale et provoque des signes cliniques chez une grande partie des carnivores, mais elle peut aussi être asymptomatique chez d'autres espèces comme l'éléphant d'Asie (*Elephas maximus*) (Smith *et al.*, 2006). Ce virus est à l'origine de troubles divers et de gravité variable selon les espèces. Parmi les signes cliniques, nous pouvons retrouver de l'hyperthermie, du jetage oculaire et nasal, des troubles respiratoires, digestifs, cutanés avec une hyperkératose de la truffe et des coussinets, neurologiques avec l'apparition d'une encéphalite aiguë à l'origine de la mort de l'animal (Le Poder, 2019 ; Loots *et al.*, 2017).

Les Mustélidés sont très sensibles, et les taux de mortalité sont proches des 100% comme pour le furet domestique (Deem *et al.*, 2000). Cette maladie endémique de l'Amérique du Nord est à l'origine du déclin du putois à pieds noirs à l'état sauvage comme en captivité dans les années 1980, elle a donc un impact important sur les populations de ce dernier (Williams *et al.*, 1988). Tout comme la peste selvatique, des actions ont été menées afin d'éradiquer la maladie chez le putois à pieds noirs, ces dernières seront aussi détaillées dans la seconde partie de cette étude.

ii. Affections d'importance modérée touchant le putois à pieds noirs

□ La tularémie

La tularémie est une maladie infectieuse bactérienne causée par *Francisella tularensis*. Elle touche les mammifères, particulièrement les lièvres et les rongeurs. Elle se transmet par voie transcutanée ou aérienne via les aérosols, ou bien vectorielle par piqûres de tiques. La bactérie a un tropisme ganglionnaire et provoque des lymphadénopathies, les ganglions pouvant par la suite s'ulcérer. Elle est aussi à l'origine de troubles digestifs ou pulmonaires (Dufour, 2020). Cette maladie se retrouve sur les continents, mais elle est endémique en Amérique du Nord, Europe, et en Asie du Nord (Friend, 2006). Une étude a démontré une prévalence d'environ 15% chez le putois à pieds noirs grâce à des prélèvements réalisés sur 427 individus, mais sans mortalité associée : les individus positifs pour la tularémie étaient retrouvés négatifs lors des captures suivantes, et les années ayant présenté des pics de prévalence se trouvaient aussi être des années avec un taux positif d'accroissement de la population de putois à pieds noirs (Livieri *et al.*, 2021). Il est donc acceptable de d'admettre que la tularémie ne représente pas une pathologie à fort risque pour la réintroduction du putois à pieds noirs à l'état sauvage.

□ La toxoplasmose

La toxoplasmose est infection parasitaire due au protozoaire *Toxoplasma gondii*, dont l'hôte définitif est un félin. Cette infection est généralement asymptomatique mais peut être à l'origine de troubles de la reproduction (avortement, malformations congénitales), et de troubles neurologiques ou oculaires chez les individus immunodéprimés (Risco-Castillo, 2019). Le putois à pieds noirs est sensible à *T. gondii* comme le démontre l'étude de Burns *et al.* (2003) qui décrit l'épizootie ayant touché les individus captifs du Jardin Zoologique de Louisville dans le Kentucky aux Etats-Unis. Plus récemment, l'étude de Livieri *et al.* (2021) a démontré que la toxoplasmose n'avait qu'une très faible prévalence chez cette espèce, et qu'elle ne représentait pas un risque majeur pour les populations.

□ La grippe

La grippe (ou influenza) est une maladie infectieuse fréquente et contagieuse causée par des orthomyxovirus. Ces derniers ont plusieurs espèces d'hôtes mais sont rarement des agents de zoonoses. Ils sont à l'origine d'un syndrome fébrile accompagné d'une atteinte pulmonaire, mais d'autres signes cliniques peuvent apparaître tels que des troubles nerveux ou digestifs selon les espèces touchées. Le furet domestique est sensible aux virus de la grippe et a ainsi été utilisé comme modèle dans la description de leur pathogénicité chez l'être humain (Belser *et al.*, 2018). Du fait de sa proximité phylogénétique, le putois à pieds noirs a toujours été considéré comme pouvant être lui aussi sensible aux virus de l'influenza. Cette sensibilité a été confirmée en 1997, avec l'émergence d'une épizootie de grippe chez les individus captifs du Zoo de Toronto en Ontario au Canada (« TORONTO ZOO | Animals », 2023 ; U.S. Fish and Wildlife Service, 2017). De ce fait, les équipements de protection individuelle tels que les masques faciaux sont devenus obligatoires dans les centres détenant des putois à pieds noirs. L'affection est considérée comme peu fréquente et peu mortelle chez cette espèce.

□ Les parasites

Puces, tiques, nématodes et acariens ont été décrits chez le putois à pieds noirs (« TORONTO ZOO | Animals », 2023 ; U.S. Fish and Wildlife Service, 2017). Une étude a montré qu'*Oropsylla hirsuta*, impliquée dans la transmission de la peste, était l'espèce ectoparasite la plus abondante en représentant 57% des parasites rencontrés chez le putois à pieds noirs (Harris *et al.*, 2014).

Giardia sp., *Physaloptera sp.*, *Cryptosporidium* génotype furet, et des oocysts d'*Eimeria spp.* ont été retrouvés dans les selles de putois à pieds noirs sauvages et captifs (Feng *et al.*, 2011 ; Jolley *et al.*, 2011 ; U.S. Fish and Wildlife Service, 2017). Comme pour de nombreux mammifères, le parasitisme est fréquent mais rarement mortelle chez le putois à pieds noirs.

Tableau 1 : Ectoparasites collectés sur des putois d'Amérique (*Mustela nigripes*) dans le bassin de Conata, Dakota du Sud, 2006-10. Prévalence (IC à 95 %) calculée comme la proportion d'individus infectés par rapport au nombre total d'individus examinés sur les sites pendant toute la durée de l'étude (n = 227) (Harris et al., 2014).

Ectoparasite species	Total count	Prevalence (95% CI)
Ticks		
<i>Ixodes sculptus</i>	189	0.37 (0.30–0.43)
<i>Ixodes kingi</i>	271	0.45 (0.38–0.51)
Fleas		
<i>Oropsylla hirsuta</i> ^a	612	0.43 (0.37–0.50)
<i>Pulex irritans</i> ^a	4	0.02 (0.01–0.05)
<i>Epidemia wenmanni</i> ^a	3	0.01 (0.00–0.03)
<i>Oropsylla tuberculata</i> ^a	2	0.01 (0.00–0.03)
<i>Peromyscopsylla hesperomys</i> ^a	2	0.01 (0.00–0.03)

^a Also reportedly found in prairie dog burrows or on prairie dogs (Salkeld and Stapp 2008).

iii. La prédation

Les prairies nord-américaines abritent de nombreux prédateurs du putois à pieds noirs tels que le blaireau d'Amérique, l'aigle royal, le faucon des prairies (*Falco mexicanus*), la buse rouilleuse (*Buteo regalis*) le renard véloce (*Vulpes velox*), le lynx roux, le crotale des prairies (*Crotalus viridis*) ou bien encore le coyote ou le Grand-duc d'Amérique qui sont les deux grands prédateurs de cette espèce (Biggins et al., 1999 ; Clark, 1987 ; Forrest et al., 1988 ; Hillman, 1968 ; Hillman et Clark, 1980 ; Poessel et al., 2011 ; Schuler et al., 2021 ; Texas Parks and Wildlife Department, 2023). La présence de ces nombreux prédateurs est l'une des raisons expliquant la difficulté de réussite de certains programmes de réintroduction (Poessel et al., 2011). L'étude de Biggins et al. (1998) a montré que 81% des individus qui décédaient dans les six premières semaines suivant leur relâcher, mourraient des suites de la prédation. De ce fait, la prédation est un paramètre important à considérer dans les programmes de réintroduction, bien qu'il n'y ait aucune information disponible sur le taux de mortalité dû à la prédation avant la création de ces programmes.

b. Les menaces dues à l'être humain

i. Destruction de l'habitat

L'industrialisation de l'agriculture associée à l'augmentation de la population sont à l'origine d'une intensification de l'agriculture et donc d'une extension des terres agricoles (Office Français de la Biodiversité (OFB), 2023). Ce changement d'usage des terres participe à la

destruction des écosystèmes, dont l'écosystème prairie auquel appartient le chien de prairie. Le putois à pieds noirs dépend exclusivement de ce dernier pour son habitat, par effet de cascade, la destruction de l'habitat du chien de prairie impacte donc directement le putois à pieds noirs. Le changement d'usage des terres avec la conversion de milieux sauvages en terres agricoles participe donc activement au déclin du putois à pieds noirs (Ceballos *et al.*, 2010 ; Knowles, 2002). Le chien de prairie préfère les sols plats et profonds, or ces caractéristiques sont très recherchées lors d'établissement de nouvelles terres de culture, ce qui explique que cette espèce souffre tout particulièrement de la conversion des terres (Choate *et al.*, 1982 ; U.S. Fish and Wildlife Service et Black-footed Ferret Recovery Implementation Team, 2019).

Par ailleurs, la fragmentation de l'habitat est une conséquence de l'extension des terres agricoles et impacte aussi l'écosystème prairie en limitant la taille de l'habitat des espèces autochtones dont le chien de prairie et le putois à pieds noirs font partie (Seglund et Schnurr, 2010). Certaines études estiment que l'habitat du putois à pieds noirs occupait 100 000 000 d'hectares avant d'atteindre un chiffre nul avec la disparition de l'espèce, disparition qui initia la mise en place de lois protégeant le putois à pieds noirs ainsi que son habitat (Choate *et al.*, 1982 ; Clark, 1987).

Le Programme de rétablissement pour le putois d'Amérique au Canada (Tuckwell et Everest, 2009) cite comme activités pouvant entraîner la destruction de l'habitat essentiel de l'espèce : « l'agriculture, l'extraction de gravier, l'exploration, [...] les infrastructures industrielles, la construction de nouveaux pare-feu permanents, les inondations ou remblayages délibérés, les activités humaines (construction de routes ou de bâtiments) ».

ii. Destruction des proies

De vastes campagnes d'empoisonnement des différentes espèces de chiens de prairie ont lieu depuis les années 1880 (Clark, 1987) et persistent encore aujourd'hui (Poster, 2021). Différents produits étaient utilisés comme la strychnine, ou les rodenticides comme le phosphore de zinc (Roemer, 1997 ; Roemer et Forrest, 1996 ; U.S. Fish and Wildlife Service et Black-footed Ferret Recovery Implementation Team, 2019). D'après Knowles (2002), environ 11 150 000 hectares furent traités entre 1917 et 1932 et 8 550 000 hectares entre 1933 et 1943 dans l'état du Nouveau Mexique aux Etats-Unis, 44 600 000 hectares entre 1912 et 1923 dans l'état du Colorado. Ces campagnes furent menées dans différents états avec pour objectif l'extermination totale du chien de prairie. Elles se déroulaient selon un fonctionnement cyclique avec un déclenchement des opérations dès que le chien de prairie occupait 0,5% des terres, puis prenaient fin dès que le territoire des colonies s'abaissait à moins de 0,1% des terres. Ainsi, le chien de prairie conserva seulement 1 à 5% de sa répartition d'origine dans les

différents états (Knowles, 2002 ; Martínez-Estévez *et al.*, 2013 ; Roemer et Forrest, 1996)(cf. Figures 11 et 12). De nombreuses agences fédérales furent impliquées comme l'US Forest Service (USFS), l'US Bureau of Land Management (USBLM), l'US National Park Service (USNPS), et l'USFWS (Roemer et Forrest, 1996).

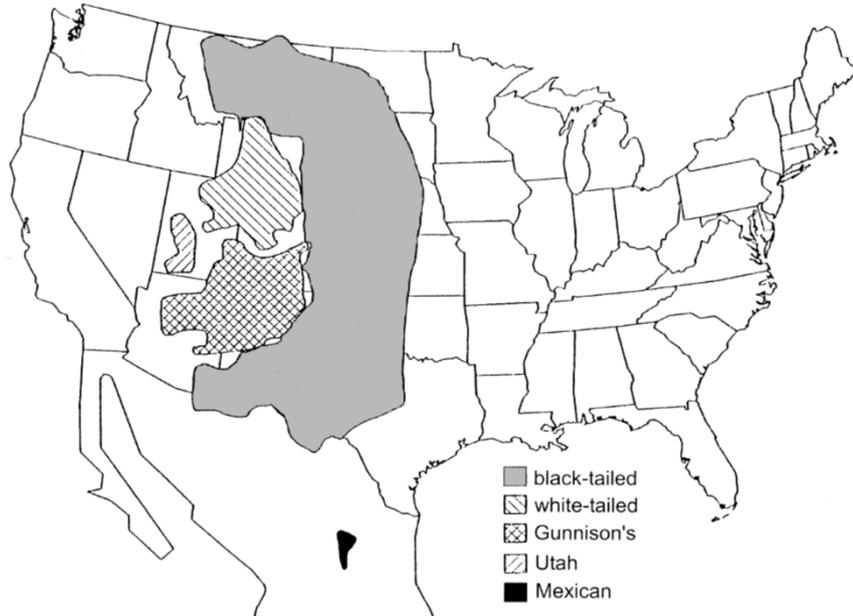


Figure 12 : Répartition historique du chien de prairie dans les années 1800 (Hoogland, 2013)

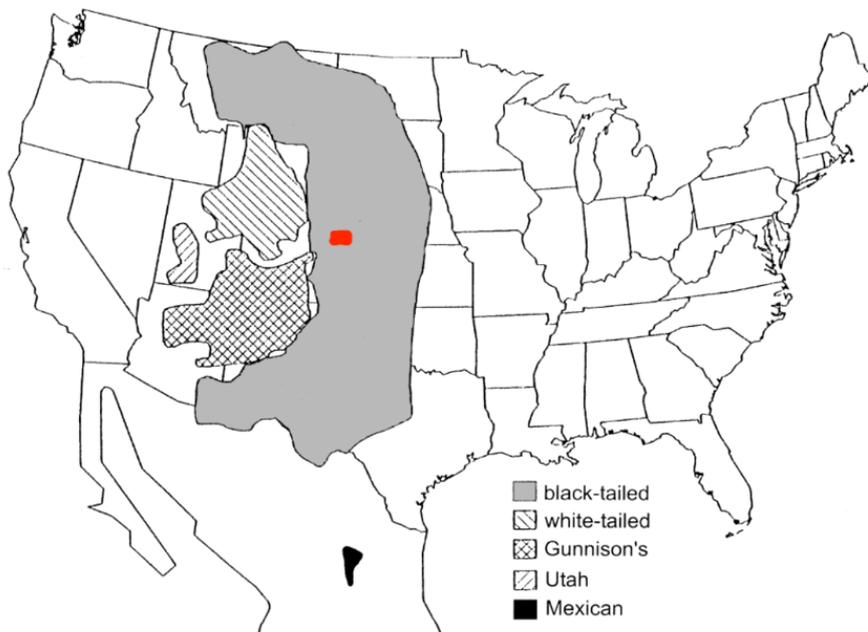


Figure 11 : Estimation de la répartition historique du chien de prairie à la fin des années 1880, après les campagnes d'extermination (en rouge, entre 1 et 5% de la répartition initiale), selon le modèle de Hoogland (2013)

Les figures 11 et 12 permettent de souligner l'impact qu'ont eu les campagnes d'extermination successives. La figure 11 représente la répartition historique des chiens de prairie à queue noire (en gris), à queue blanche (en rayé, du Nord-Ouest vers le Sud-Est), de Gunnison (en quadrillé) ainsi que les populations présentes en Utah (en rayé, du Sud-Ouest vers le Nord-Est) et au Mexique (en noir). La figure 12, reprend la figure 11 et y superpose une représentation approximative de la répartition des chiens de prairie après ces campagnes, soit 1 à 5% de la répartition initiale (en rouge).

Les données disponibles sont des estimations et il est très probable que la répartition du chien de prairie eut été supérieure à celle estimée, comme l'évoquent Anderson *et al.* (1986). D'après ces travaux, l'intensification de l'agriculture aurait détruit des populations de chiens de prairie avant même que ces dernières puissent être découvertes dans la province de Saskatchewan au Canada.

Des campagnes d'abattage ont été menées en parallèle à celles d'empoisonnement avec l'aide de quatre services de parc nationaux (Badlands National Park, Dakota du Sud ; Wind Cave National Park, Dakota du Sud ; Theodore Roosevelt National Park, Dakota du Nord ; Devils Tower National Monument, Wyoming), et la chasse à titre récréatif autorisait l'abattage des chiens de prairie dans plusieurs états dont celui du Montana, de l'Arizona, du Colorado, du Wyoming et de l'Utah (Roemer et Forrest, 1996 ; U.S. Bureau of Land Management, 2005 ; U.S. Fish and Wildlife Service, 2013 ; U.S. Fish and Wildlife Service et Black-footed Ferret Recovery Implementation Team, 2019 ; Vosburgh, 1996).

iii. Réchauffement climatique

Le réchauffement climatique est à l'origine de nombreuses modifications de notre environnement comme l'augmentation du niveau des eaux, l'augmentation de la fréquence et de la gravité des phénomènes météorologiques comme les périodes de sécheresse. Les écosystèmes tels que ceux des prairies sont directement impactés par l'augmentation des températures et la prolongation des périodes de sécheresses. Ces sécheresses sont à l'origine d'une diminution de la végétation succulente dont le chien de prairie se nourrit. Cela conduit à une diminution des réserves grasses stockées par ces derniers en amont de la période hivernale, ce qui raccourcit leur hibernation, provoquant de nombreux décès par inanition (Keinath, 2005). Les populations de chiens de prairie affectées par la sécheresse présentent une diminution de leur abondance, de leur reproduction et de leur survie. Le putois à pieds noirs, étant donné sa dépendance au chien de prairie, est directement impacté par cette diminution de productivité primaire (Mack *et al.*, 2017 ; U.S. Fish and Wildlife Service et Black-footed Ferret Recovery Implementation Team, 2019). Les effets de la sécheresse sur ces

mammifères sont exacerbés si des épizooties de peste sylvatique (Eads *et al.*, 2016 ; Eads et Hoogland, 2016) ou une agriculture intensive (Ceballos *et al.*, 2010) sont concomitantes.

iv. Menaces humaines accidentelles et volontaires

Le putois à pieds noirs est une victime secondaire des campagnes massives d'empoisonnement et des autorisations d'abattage du chien de prairie (Hillman et Clark, 1980 ; Miller et Reading, 2012). En effet, la consommation de chien de prairie empoisonnés serait à l'origine de décès au sein de l'espèce (Hillman, 1968). La corpulence similaire à celle de sa proie principale participe à la confusion avec cette dernière et explique les cas d'abattage accidentel par des chasseurs, ainsi que le piégeage accidentel rapporté par certaines études (Henderson, 1969). Le nombre de décès répertoriés est probablement très largement sous-estimé dans la mesure où les putois à pieds noirs ont tendance à se réfugier dans leurs terriers s'ils sont blessés ou dans un état pathologique (Henderson, 1969). Les chiens de compagnie (*Canis lupus familiaris*) sont aussi rapportés comme étant à l'origine de décès de putois à pieds noirs (U.S. Fish and Wildlife Service, 1988).

De plus, le trafic routier est à l'origine d'une perte croissante du nombre d'individus au fil des années : la transformation des prairies en terres de culture favorise l'établissement de lignes de transport et la collision avec un véhicule représente environ 10% des causes de mortalité du putois à pieds noirs (Hanebury et Biggins, 2004 ; U.S. Fish and Wildlife Service, 2002).

c. Chronologie du déclin

i. Jusqu'aux années 1950

D'après Anderson *et al.* (1986), le putois à pieds noirs serait apparu il y a environ 100 000 ans mais une étude plus récente rapporte la découverte d'un fossile datant de 750 à 850 000 ans. Le squelette a été découvert dans la localité de Pit, dans la Cave du Porc-Épic située dans le Parc des montagnes Rocheuses du Colorado et daterait ainsi du Pléistocène moyen (Bell et Barnosky, 2000 ; Cohen *et al.*, 2013). Ce n'est que bien après qu'il fût découvert officiellement par John James Audubon en 1851, bien qu'il ait été déjà connu et utilisé pour sa fourrure par les Amérindiens avant cela (Anderson *et al.*, 1986). De plus, l'historique des ventes de la Compagnie de fourrure d'Amérique rapporte que l'entreprise a détenu et vendu des peaux de putois à pieds noirs entre 1835 et 1839 (Johnson, 1969). Avant 1880, le chien de prairie était largement distribué sur le territoire des Grandes Plaines (Virchow et Hygnstrom, 2002), on peut ainsi supposer que la distribution du putois à pieds noirs sur le territoire était approximativement la même (cf. Figure 9). Ce sont ensuite un peu moins de 100 ans de

campagnes d'empoisonnement intensives du chien de prairie qui ont provoqué le déclin du putois à pieds noirs. Au début des années 1900, l'espèce persiste et on estime la présence de plus de 150 000 individus dans l'état du Montana (Flath et Clark, 1986). Mais à la fin des années 1940, aucun individu n'est retrouvé à l'état sauvage et l'espèce est supposée disparue (Clark, 1987).

ii. Années 1960 – 1980

En 1964, une petite population de putois à pieds noirs est découverte dans le Dakota du Sud, dans le comté de Mellette (blackfootedferret.org, 2023c). Seront ensuite répertoriés 11 portées et environ 90 individus jusqu'en 1974, puis plus aucun nouveau putois ne sera découvert avant le mois de septembre 1981 (Clark, 1987). La population décline alors fortement et les individus persistants sont intégrés à un programme de conservation au Centre de recherche pour la faune sauvage du Patuxent à Laurel, dans le Maryland. Ce programme se soldera par un échec avec la mort des derniers putois à pieds noirs en 1979 (Black-footed ferret friends, 2005). Il est important de noter que parmi ces derniers individus, 4 sont morts après l'inoculation d'un vaccin contre la Maladie de Carré (Carpenter *et al.*, 1976). L'USFWS déclare ainsi l'espèce disparue en 1979 (McClure, 2017).

Le 26 septembre 1981, le chien de John and Lucille Hogg, deux éleveurs de bovins habitant à Meeteetse dans le Wyoming, tua un putois à pieds noirs et révéla ainsi l'existence d'individus persistant toujours à l'état sauvage.

d. État des lieux de la population mondiale du putois à pieds noirs

i. Zoom sur la population actuelle

Depuis 1981, suite à la découverte de 18 putois à pieds noirs vivant à l'état sauvage, de nombreux programmes et associations ont vu le jour dans le but de rétablir cette espèce dans son aire de répartition initiale, aux Etats-Unis, au Canada et au Mexique (blackfootedferret.org, 2023c)(cf. Figure 13). On compte à ce jour environ 300 individus adultes captifs, et le même nombre à l'état sauvage (« Black-footed Ferret, Species - Revive & Restore », 2023). Ainsi des putois à pieds noirs nés et élevés en captivité ont pu être relâchés dans les états du Montana, du Dakota du Sud, du Wyoming, de l'Arizona, du Colorado, de l'Utah aux Etats-Unis, du Chihuahua au Mexique (Tuckwell et Everest, 2009) et dans le Parc National des Prairies au Canada bien que plus aucun individu n'ait été retrouvé dans le pays depuis 2013 (Parks Canada Agency, 2023).

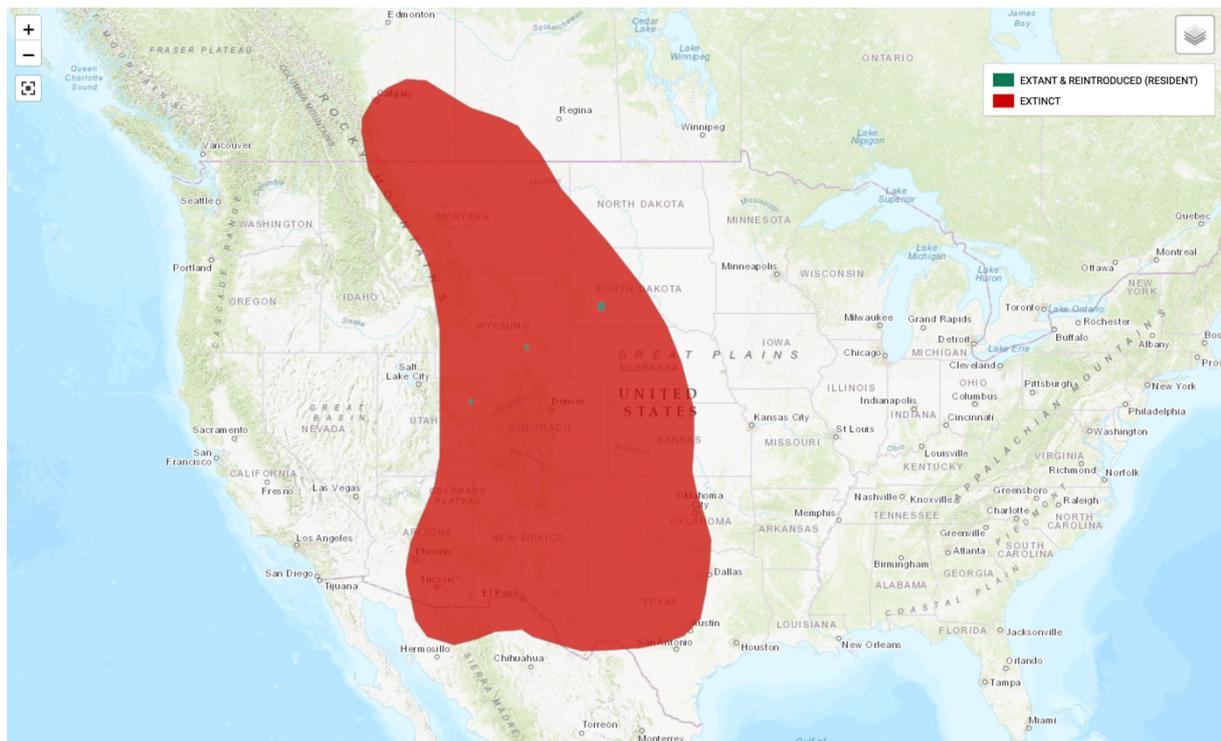


Figure 13 : Aires de répartition historique et actuelle du putois à pieds noirs. Zones géographiques où il a été réintroduit (en vert), et où il est éteint à l'état sauvage (en rouge) (Belant *et al.*, 2015)

ii. Une population appauvrie génétiquement

Le déclin rapide et continu d'une population entraîne une réduction du flux génétique, une dérive génétique aléatoire, de la consanguinité et, par conséquent, une diminution de la diversité génétique (Frankham *et al.*, 2007). Le putois à pieds noirs a quant à lui de plus subi un « goulot d'étranglement » de sa population ce qui a drastiquement diminué la diversité génétique de l'espèce. En effet, parmi les 18 individus retrouvés à Meeteetse, seulement 7 sont les parents fondateurs de la population actuelle. Ils représentaient environ 92% de la variabilité génétique de cette espèce lorsqu'ils ont été découverts, et en 2016 elle était d'environ 86,78% (Howard *et al.*, 2016). En 1992, le coefficient de consanguinité s'élevait à 0,056, puis à 0,072 seulement 3 ans plus tard (Hutchins *et al.*, 1996). Certaines études prédisaient une augmentation croissante de ce dernier. Plus récemment, il a été évalué entre 0,12 et 0,15 chez les individus se reproduisant naturellement en captivité (Howard *et al.*, 2016). La figure 14 illustre la tendance à l'augmentation du coefficient de consanguinité des individus, en l'absence de gestion de la reproduction et de l'utilisation de l'insémination artificielle pour de croisements programmés génétiquement. L'étude d'Howard *et al.* (2016)

a permis de démontrer que l'utilisation de techniques de reproduction assistée comme l'insémination artificielle permettait de faire diminuer ce coefficient.

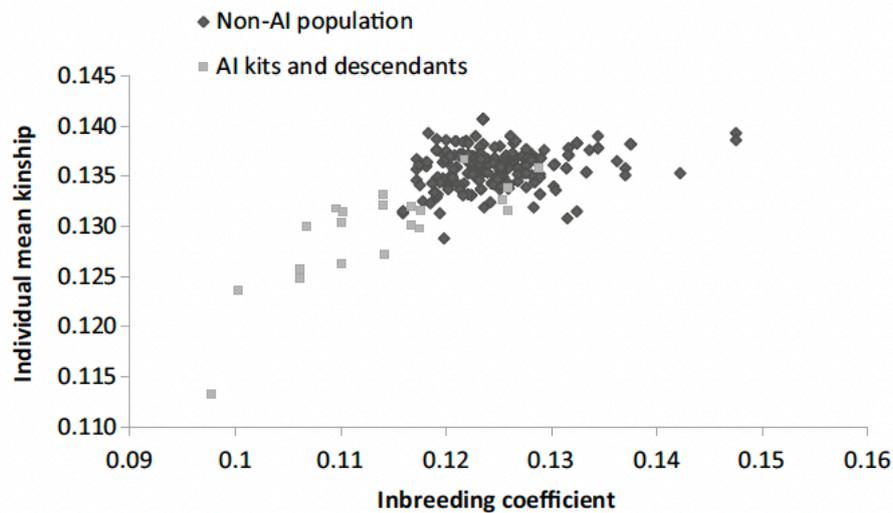


Figure 14 : Effet de l'insémination artificielle (IA) sur la parenté moyenne individuelle et la consanguinité chez le putois à pieds noirs. La majorité des petits produits par IA à l'aide de spermatozoïdes congelés depuis 10-20 ans et leurs descendants avaient de

Il est admis que la perte de diversité génétique a de nombreuses conséquences sur la condition physique des animaux et des populations, et qu'elle impacte très souvent leur capacité à se reproduire (Taylor, 2002). Cela les prédispose aux maladies (O'Brien et Evermann, 1988), et le stress environnemental vient ajouter à cela une exacerbation des effets de la dérive génétique de la population (Reed *et al.*, 2002). La perte de variation génétique a donc un effet boule de neige, avec une succession de conséquences dramatiques pouvant mener à l'extinction d'une population (Frankham, 1995). Plusieurs effets délétères dus à cette perte ont été étudiés chez différentes espèces. Chez certains carnivores, les spermatozoïdes d'apparence normale provenant d'éjaculats tératospermes se sont montrés être hypersensibles à la cryoconservation, l'intégrité de la chromatine est altérée comme les capacités fonctionnelles à pénétrer et fertiliser les ovocytes conspécifiques, c'est-à-dire de la même espèce que les spermatozoïdes (Pukazhenthii *et al.*, 2006). Chez le putois à pieds noirs, il a été montré que seulement 15 à 50% du sperme prélevé chez des individus mâles adultes ne présentaient pas d'anomalie (Howard *et al.*, 2002 ; Santymire *et al.*, 2006 ; Wolf *et al.*, 2000b). Les principales anomalies relevées sont une pièce médiane courbée avec gouttelette (31%), un acrosome anormal (27%) et une gouttelette cytoplasmique distale (12%) (Santymire *et al.*, 2006). La forte incidence de ces anomalies rend la semence plus sensible aux techniques

de congélation rapide utilisées dans le cadre de la reproduction assistée au sein des programmes de réintroduction du putois à pieds noirs (Santymire *et al.*, 2007).

Un des objectifs de ces programmes est de conserver un pourcentage élevé de diversité génétique tout en augmentant rapidement la population de putois à pieds noirs. Malgré l'objectif de conservation de 90% de la diversité génétique de la population restante, il s'avère qu'il fut impossible pour d'anciens programmes d'associer une conservation de la diversité génétique, et un accroissement de la population suffisant pour réintroduire de manière viable l'espèce à l'état sauvage. En effet, le nombre d'individus nécessaires à une réintroduction pérenne dépasse le nombre d'individus nécessaires à la conservation d'une variation génétique suffisante pour un bon maintien de l'espèce (Hutchins *et al.*, 1996). Actuellement, de nouveaux outils numériques permettent d'optimiser les croisements réalisés entre les mâles et les femelles sélectionnés pour la reproduction afin de préserver au maximum la variabilité génétique tout en augmentant le nombre d'individus (Ballou *et al.*, 2010).

iii. Comparaison de la situation du putois à pieds noirs avec celle du vison d'Europe

Les nombreux éléments détaillés précédemment menaçant le putois à pieds noirs se retrouvent aussi chez le vison d'Europe.

□ Répartition du vison d'Europe

Tout comme pour le putois à pieds noirs, l'aire de répartition du vison d'Europe a été drastiquement réduite au milieu du XIXe siècle et elle représente aujourd'hui seulement 20% de son aire de répartition initiale (Maran, 2007)(cf. Figure 15). Historiquement, la distribution géographique du vison d'Europe couvrait l'Europe centrale et du nord, s'étendant de la côte atlantique française aux montagnes de l'Oural et de la Finlande à la quasi-totalité des côtes de la Méditerranée et de la mer Noire jusqu'au Caucase (Youngman, 1990). Actuellement, une petite population persiste du nord de l'Espagne jusqu'en Charente-Maritime en France, une autre se trouve dans le delta du Danube en Roumanie, en Ukraine et d'autres populations se trouveraient possiblement en Russie mais les données sont anciennes et peu disponibles (Maran, 2007).

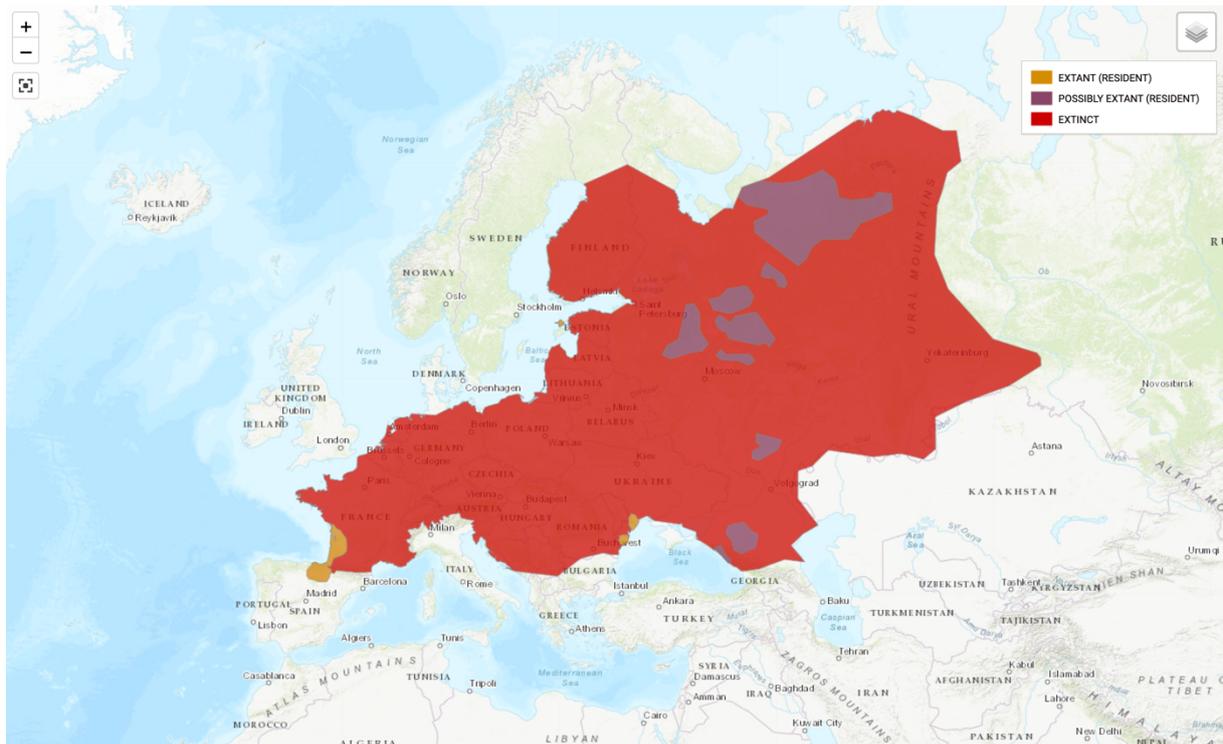


Figure 15 : Aires de répartition historique et actuelle du vison d'Europe. Zones géographiques où il est éteint (en rouge), où il réside (en marron clair), et où il réside potentiellement (en violet). (Maran *et al.*, 2015)

□ Destruction de l'habitat

La réduction de l'aire de répartition du vison d'Europe s'explique en partie par la destruction de son habitat par l'être humain. Le vison d'Europe est un petit mustélidé, semi-aquatique, qui évolue le long des rivières et parfois des lacs, il s'éloigne rarement de plus de 150m d'un point d'eau (Office Français de la Biodiversité (OFB), 2022). Il est dépendant des zones humides, tant pour son habitat que pour sa nourriture, en effet son régime alimentaire se compose surtout de poissons, de crustacés, d'amphibiens, de petits rongeurs, d'insectes et d'oiseaux (Maran *et al.*, 1998). Le drainage des zones humides et la modification du lit des rivières sont les principales causes de sa disparition (Maran et Henttonen, 1995). La disparition des zones de bocages pour l'établissement de cultures intensives, tout comme la fragmentation qui l'accompagne sont elles aussi responsables de la diminution de l'aire de répartition du vison d'Europe (Lodé *et al.*, 2002).

Par ailleurs, la pollution de l'environnement serait aussi probablement à l'origine du déclin de cette espèce, López-Martín *et al.* (1994) rapportent avoir retrouvés des traces de pesticides organochlorés et de polychlorobiphényles au sein de 4 cadavres de vison d'Europe qui furent relâchés dans le cadre d'un programme de réintroduction. La pollution des eaux par

les résidus de nitrates utilisés pour l'agriculture serait aussi un facteur négatif et participerait à la disparition de l'espèce dans certaines régions (Lodé *et al.*, 2002).

□ Mortalité accidentelle

Le vison d'Europe est victime de l'augmentation du trafic routier de par les percussions accidentelles, mais aussi de par la construction de nouvelles routes et autoroutes qui participe à la fragmentation de son habitat. Les infrastructures de transport constituent une cause majeure de mortalité chez cette espèce (« ITIS - Report: Mustelinae », 2018).

Le piégeage accidentel est de même une cause importante de mortalité chez le vison d'Europe, ce dernier étant souvent confondu avec le putois (*Mustela putorius*) et le vison d'Amérique (*Neovison vison*) (Lodé, 1995).

□ Partage de la même niche écologique avec le vison d'Amérique (*Neovison vison*)

L'invasion par le vison d'Amérique (*N. vison*) des régions occupées par le vison d'Europe menace la pérennité de l'espèce. Le vison d'Amérique est un mustélide très proche du vison d'Europe, ces deux espèces occupent le même habitat et présentent un régime alimentaire similaire. Les échappées de nombreux visons d'Amérique provenant des élevages pelletiers implantés en Europe dans les années 1920 ont conduit le vison d'Europe à devoir partager sa niche écologique avec une espèce malheureusement plus robuste que lui car moins spécifique des zones humides et pouvant ainsi s'adapter à de plus nombreux milieux (Maran et Henttonen, 1995). De plus, le vison d'Amérique est décrit comme étant de taille plus importante, plus agressif et plus prolifique que le vison d'Europe. Ces deux espèces partageant le même habitat, le vison d'Amérique est à l'origine de nombreux décès lors de leurs rencontres (Põdra *et al.*, 2013), mais aussi d'une forte pression de compétition pour les territoires et les ressources alimentaires. En effet, même si les deux espèces peuvent cohabiter, la population de vison d'Europe a tendance à diminuer alors que celle du vison d'Amérique présente une tendance inverse (Vauthier, 2020).

□ Appauvrissement génétique de la population

La forte diminution de l'aire de répartition du vison d'Europe ainsi que la destruction de son habitat ont fortement participé au déclin de la population ce qui a eu pour conséquence un goulot d'étranglement démographique à l'origine d'une perte de diversité génétique. D'après Lodé (1999), la population de visons d'Europe se trouvant entre l'Espagne et le France aurait perdu plus de 50% de son hétérozygotie. Cependant, les populations présentes dans le nord-est et le sud-est de l'Europe auraient conservé un polymorphisme génétique plus important ce qui représente un avantage considérable pour le vison d'Europe (Cabria *et al.*, 2015),

contrairement au putois à pieds noirs pour qui seule une population réduite et très peu diversifiée génétiquement persiste.

De nombreux facteurs variés menacent le putois à pieds noirs et sont responsables de la forte diminution de la population et de sa répartition sur le territoire nord-américain. La grande majorité de ces facteurs ayant une origine anthropique, plusieurs programmes de conservation ont vu le jour depuis les années 1960 dans l'objectif de corriger et d'éliminer les menaces qui pèsent actuellement sur l'espèce. Aux vues de la quasi disparition de l'espèce à l'état sauvage, et du statut « espèce en danger d'extinction » attribué par l'UICN (Belant *et al.*, 2015), le Canada, les Etats-Unis et le Mexique dirigent non seulement nombre de ces programmes, mais mettent aussi en place des actions législatives et juridiques afin protéger et préserver cette espèce.

Deuxième partie : Le putois à pieds noirs, un modèle pour la conservation du vison d'Europe

Déclarée comme espèce « très rare et en nombre décroissant » par l'UICN en 1965 (Belant *et al.*, 2015), le putois à pieds noirs est d'abord considéré comme éteint à l'état sauvage en 1974 puis déclaré officiellement éteint par l'USFWS en 1979 avec la mort des derniers individus du centre de conservation de l'espèce dans le Dakota du Sud aux Etats-Unis (McClure, 2017). Le rétablissement d'une population certes petite, mais stable à l'état sauvage à partir des quelques individus retrouvés en 1981 représente une prouesse scientifique et environnementale. D'autres espèces considérées comme éteintes à l'état sauvage ont pu être réintroduites dans leur habitat naturel comme le cheval de Przewalski ou bien le bison d'Europe par exemple, mais malheureusement il y a plus d'espèces qui disparaissent chaque année que d'espèces préservées de l'extinction comme le fut le putois à pieds noirs, ce qui fait de lui un modèle de conservation unique pour les espèces de Mustélidés menacées actuellement.

I. Le putois à pieds noirs, une espèce réglementée faisant l'objet d'intenses efforts de conservation

a. Statuts

i. Statut juridique

□ Au niveau mondial

Le putois à pieds noirs est inscrit dans l'Annexe I de la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES) du 3 mars 1973, aussi appelée Convention de Washington (« CITES », 2023). L'Annexe I regroupe les espèces menacées d'extinction dont le commerce international est formellement interdit sauf en cas d'importation non commerciale, par exemple, à des fins de recherches scientifiques. La CITES a été mise en vigueur aux Etats-Unis dès 1975 (Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES), 2023).

□ Au niveau national

Le putois à pieds noir a été reconnu comme espèce en danger par le gouvernement fédéral des Etats-Unis en 1967, 1970, 1974 respectivement d'après l'« Endangered Species Preservation Act » de 1966 (Office of Federal Register, 1967), l'« Endangered Species Conservation Act » de 1969 (Office of Federal Register, 1970) et l'« Endangered Species Act » (ESA) de 1973 (Office of Federal Register, 1974). Cette dernière loi lui a permis de bénéficier d'une clause d'antériorité, une manière pour le gouvernement américain d'ancrer sa protection pour les années à venir. L'habitat essentiel n'a pas été décrit pour le putois à pieds noirs car il a été listé antérieurement aux amendements de l'ESA qui imposaient la définition de l'habitat essentiel pour les espèces qu'il liste (U.S. Fish and Wildlife Service et Black-footed Ferret Recovery Implementation Team, 2019). Les populations réintroduites dans le cadre de l'ESA sont décrites comme « populations expérimentales, non essentielles » dans les états du Wyoming, du Dakota du Sud, du Montana, de l'Arizona, de l'Utah et du Colorado, dans le but de simplifier les déplacements d'animaux qui seraient nécessaires au bon déroulement des actions mises en place par les programmes de conservation (Office of Federal Register, 2023).

D'après le registre fédéral du 30 octobre 2015 (Office of Federal Register, 2015), l'ESA indique que : « La loi prévoit que les espèces répertoriées comme étant en danger sont protégées principalement par les interdictions de l'article 9 [de l'Acte] et les exigences de l'article 7 [de l'Acte]. L'article 9 de la loi interdit notamment la prise d'espèces sauvages menacées. La loi définit la "prise" comme le fait de harceler, de nuire, de poursuivre, de chasser, de tirer, de blesser, de tuer, de piéger, de capturer ou de collecter, ou de tenter d'adopter un tel comportement. L'article 7 de la loi décrit les procédures de coopération entre les agences fédérales afin de conserver les espèces inscrites sur la liste fédérale et de protéger l'habitat essentiel désigné. Elle impose à toutes les agences fédérales d'utiliser leurs pouvoirs existants pour promouvoir les objectifs de la loi en mettant en œuvre des programmes de conservation des espèces répertoriées. Elle stipule également que les agences fédérales doivent, en consultation avec le Service, s'assurer que toute action qu'elles autorisent, financent ou mettent en œuvre n'est pas susceptible de mettre en péril la pérennité d'une espèce inscrite sur la liste ou d'entraîner la destruction ou la modification négative d'un habitat essentiel désigné. La section 7 de la loi n'affecte pas les activités entreprises sur des terrains privés, à moins qu'elles ne soient autorisées, financées ou réalisées par une agence fédérale. » [Notre traduction]

Le premier plan de rétablissement de l'espèce a été publié en 1978 (U.S. Fish and Wildlife Service, 1978), puis revu en 1988 (U.S. Fish and Wildlife Service, 1988), en 2008 (U.S. Fish and Wildlife Service, 2008) et en 2013 (U.S. Fish and Wildlife Service, 2013).

□ Au niveau étatique

Chaque état peut définir un statut particulier concernant les espèces qu'il abrite, si ce statut permet d'apporter une protection supplémentaire à l'espèce menacée, mais ce statut ne surpasse en aucun cas le statut de protection national. Par exemple, l'état du Wyoming a déclaré le putois à pieds noirs comme une « espèce native de statut 1 », il s'agit du plus haut rang de conservation que cet état peut accorder (Esch *et al.*, 2005).

ii. Statut de conservation

Le putois à pieds noirs est défini comme « En danger » sur la Liste rouge de l'UICN (Belant *et al.*, 2015) depuis 2008 (cf. Figure 16).

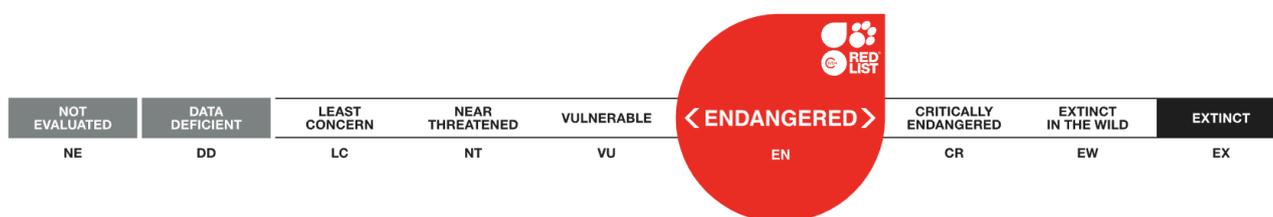


Figure 16 : Statut de conservation du putois à pieds noirs (*Mustela nigripes*) d'après la Liste rouge de l'UICN. Les catégories décrites sont : Éteinte (EX), Éteinte à l'état sauvage (EW), En danger critique (CR), En danger (EN), Vulnérable (VU), Quasi menacée (NT)

L'organisation à but non lucratif NatureServe lui a attribué le rang G1 (cf. Figure 17), le qualifiant ainsi d'« espèce en péril critique » d'extinction (NatureServe, 2023).

Plusieurs rangs de précarité des espèces sont décrits :

- Rang G (Global) pour l'échelle mondiale
- Rang N (National) pour l'échelle nationale
- Rang S (Subnational) pour l'échelle provinciale

A cette lettre s'ajoute un chiffre allant de 1 à 5, en fonction du risque d'extinction de l'espèce considérée, le chiffre 1 étant le risque le plus important, ou une lettre, X ou H, selon si l'espèce est respectivement considérée comme éteinte ou possiblement éteinte.



Figure 17 : Statut de conservation du putois à pieds noirs d'après NatureServe. Les catégories décrites à l'échelle globale sont : Présumée éteinte (GX), Possiblement éteinte (GH), Gravement en péril (G1), En péril (G2), Vulnérable (G3), Apparemment en sécurité (G4), En sécurité (G5), Pas de rang.

b. Les programmes de conservation

i. Le Programme de Restauration et de Réintroduction du Putois à pieds noirs

□ Le programme

Les différents programmes de conservation s'articulent au sein du Programme de Restauration et de Réintroduction du Putois à pieds noirs, servant ainsi de directive générale aux autres programmes. Il s'agit d'un des programmes de conservation les plus anciens des Etats-Unis (Biggins *et al.*, 1997).

Le lancement de ce programme de restauration a vu le jour avec la publication du plan original de restauration du putois à pieds noirs en 1978 (U.S. Fish and Wildlife Service, 1978). Les directives du programme seront régulièrement actualisées au fil des années afin de proposer des objectifs plus concrets et proches de la réalité aux institutions participant au projet. Par exemple, le Black-footed Ferret Recovery Program Analysis and Action Plan (Hutchins *et al.*, 1996) établit une liste de recommandations prioritaires et fournit de nombreux détails sur les différentes actions pouvant être menées pour répondre à ces recommandations (cf. Annexe 1).

□ Le plan de restauration

Le plan de restauration a été publié en 1978. Il a pour but de fournir des documents d'orientation, de planification, et d'identification d'actions à mettre en œuvre pour répondre aux exigences du programme de conservation et de réintroduction du putois à pieds noirs. Ce plan ne constitue pas un engagement ni une obligation de la part des agences fédérales impliquées. Il permet de guider les agences publiques comme privées dans la mise en place d'actions concrètes de terrain en exprimant clairement les objectifs de gestion en captivité et de réintroduction du putois à pieds noirs, de conservation de l'écosystème prairie ainsi que le contrôle des maladies pouvant affecter le putois à pieds noirs et sa proie principale, le chien de prairie (U.S. Fish and Wildlife Service, 2013).

D'après l'USFWS (1978), les objectifs du plan sont :

- 1) Augmenter la population captive de putois d'Amérique à une taille de recensement de 200 adultes reproducteurs d'ici 1991.
- 2) Établir une population de recensement pré-reproduction de 1500 adultes reproducteurs de putois à pieds noirs en liberté dans 10 populations ou plus avec pas moins de 30 adultes reproducteurs dans n'importe quelle population d'ici 2014
- 3) Encourager la distribution la plus large possible des populations de putois d'Amérique réintroduites.

ii. Les programmes de conservation : entre reproduction et réintroduction

□ Au Wyoming

Lors de la découverte du putois à pieds noirs dans la région de Meeteetse dans le Wyoming en 1981, ce sont environ 130 individus qui sont comptabilisés. En 1985, une épidémie de peste sylvatique pousse les autorités à récupérer les derniers individus présents à l'état sauvage. Ce ne sont malheureusement que 18 individus, 7 mâles et 11 femelles, qui seront récupérés et placés au centre de conservation de la faune sauvage Sybille Wildlife Research Center. C'est alors que naît le programme de reproduction en captivité et de réintroduction du putois à pieds noirs, géré par le Département de la chasse et de la pêche du Wyoming en coopération avec l'USFWS (Belant *et al.*, 2015 ; U.S. Fish and Wildlife Service, 1988). Dans le cadre de ce programme, des techniques de reproduction assistée comme l'insémination artificielle sont utilisées et permettront la naissance d'environ 80 petits entre les années 1980 et les années 2000. En 1987, 8 jeunes ont été produits dans 2 portées en captivité. De plus, 44 petits issus de 13 portées sont nés pendant la saison de reproduction 1988. Malgré quelques pertes, la population totale est alors de 58 animaux (U.S. Fish and Wildlife Service, 1988).

La réintroduction a commencé en 1991 avec le lâcher d'un groupe dans le Shirley Basin au Wyoming, la population de chiens de prairie de la région de Meeteetse étant insuffisante pour supporter de manière pérenne cette nouvelle population. Entre 1991 et 1994, 228 furets ont été relâchés au même endroit. Malheureusement la persistance de la peste sylvatique et de la maladie de Carré dans la région a réduit temporairement le cours des introductions dans le Wyoming. Plus récemment, sur la base d'études ponctuelles, la population de Shirley Basin a été démontré comme croissante (Esch *et al.*, 2005). Entre 2003 et 2006, un taux de croissance annuel de 35% fut estimé, suggérant que la population au sein du complexe de chiens de prairie du Shirley Basin était en augmentation. Ainsi 250 furets supplémentaires ont été relâchés dans des zones situées au nord et au sud des sites de réintroduction initiaux pendant l'automne et l'hiver 2005, 2006 et 2012 (Wyoming Game and Fish Department et Wyoming Black-footed Ferret Working Group, 2018). A l'automne 2008 et 2010, environ 200 putois à pieds noirs ont été comptabilisés (U.S. Fish and Wildlife Service, 2013).

Cependant, les enquêtes menées en 2013 ont suggéré une diminution drastique de la population pour atteindre 39 individus. En 2015, au moins 45 individus ont été observés sur plus de 11 000 ha dans le plus grand complexe du bassin Shirley (≥ 43 individus observés dans la zone d'étude principale), ce qui suggère que la population n'a pas connu de changement significatif depuis le déclin observé en 2013. En 2016, environ 4 500 ha ont été étudiés dans la zone d'étude principale, au cours desquels 34 individus ont été observés, ce qui représente une augmentation de 36 % du nombre de furets observés depuis 2015. Une surveillance continue est ainsi essentielle pour confirmer que la population s'accroît au sein des sites de réintroduction (Wyoming Game and Fish Department et Wyoming Black-footed Ferret Working Group, 2018).

□ Au Colorado et en Utah

Peu après la découverte d'une population résiduelle de putois d'Amérique près de Meeteetse, la Colorado Division of Wildlife (CDOW) et l'USFWS ont lancé des recherches dans l'espoir de trouver une population existante de putois à pieds noirs dans le Colorado. Parallèlement à ces recherches, des sites potentiels de réintroduction furent identifiés. Bien qu'aucun furet n'ait été trouvé au cours de ces efforts, 3 sites dans le nord-ouest du Colorado ont été identifiés comme ayant un potentiel pour la réintroduction de l'espèce : Little Snake Management Area dans le nord-ouest du comté de Moffat, Wolf Creek Management Area dans les comtés de Moffat et de Rio Blanco, et Coyote Basin Management Area dans le comté de Rio Blanco, qui serait géré dans le cadre d'un site plus vaste à Coyote Basin, dans l'Utah. Une fois les derniers animaux de la population de Meeteetse capturés et l'élevage en captivité commencé dans le Wyoming, des techniques de reproduction assistée comme l'insémination artificielle furent utilisées et plans furent mis en place pour commencer à réintroduire les individus dans un habitat approprié une fois la population captive sécurisée.

En 1998, la réintroduction du putois à pieds noirs comme population expérimentale non-essentielle est autorisée dans le nord-ouest du Colorado et le nord-est de l'Utah, sous la direction de l'USFWS, en coopération avec l'USBLM, la CDOW et l'Utah Division of Wildlife Resources (UDWR). La législature de l'État du Colorado a approuvé la réintroduction le 18 avril 2000. Cette législation exige que les activités de réintroduction du furet soient menées de manière cohérente avec l'approche utilisée dans le plan de gestion de la zone de réintroduction de Little Snake (U.S. Fish and Wildlife Service, 1998).

La première aire de réintroduction fut la zone de gestion de Little Snake dès 1989, malheureusement une épidémie de peste sylvatique a mené au retrait de Little Snake comme zone de réintroduction. La zone de gestion de Wolf Creek, située à environ 30 km au sud de la zone de gestion de Little Snake, a continué à abriter une population importante de chiens de prairie à queue blanche pendant cette période et a été identifiée comme un autre site convenable pour la réintroduction. En février 2000, le groupe de travail de Wolf Creek est formé afin de développer un plan de gestion pour la récupération des individus dans les zones

de gestion de Wolf Creek et de Coyote Basin. Ce plan aborde différents aspects de l'espèce, comme les ressources physiques, biologiques et sociales dans les zones de gestion, la restauration de l'espèce dans son milieu naturel, les buts et objectifs du programme, les questions d'utilisation des terres et les stratégies de gestion. L'un des principaux objectifs du plan était une restauration de l'espèce compatible avec les économies et les modes de vie actuels et futurs, y compris la gestion du bétail, le développement minier et les activités de loisirs (Holmes et United States., 2008).

Afin de suivre l'évolution de la population réimplantée, diverses techniques de suivi ont été utilisées afin de dénombrer les individus et récolter des données concernant leur comportement et leurs déplacements comme l'éclairage nocturne, la radio télémétrie, l'utilisation de chiens de détection et le pistage dans la neige. Malgré les efforts de réintroduction, le nombre d'individus persistant à l'état sauvage plus de 30 jours après la réintroduction reste faible, ce qui souligne l'importance de poursuivre et d'améliorer les techniques de réintroduction utilisées grâce aux données assimilées lors de ces programmes.

Bien que Wolf Creek soit le site de réintroduction le plus important du Colorado avec 252 putois à pieds noirs relâchés depuis 2001 (cf. Tableaux 2 et 3), d'autres sites ont pu être sélectionnés du fait de la présence de populations stables de chiens de prairie. Il s'agit de Walker Ranch dans le comté de Pueblo, Soapstone Natural Area et Meadow Springs Ranch dans le comté de Larimer, North et South Holly Complexes dans le comté de Prowers, Liberty Complex dans le comté de Baca et du Rocky Mountain Arsenal National Wildlife Refuge dans le comté d'Adams. Entre 2013 et 2018, ce ne sont pas moins de 580 putois à pieds noirs qui furent relâchés au sein de ces différents sites (Colorado Parks & Wildlife, 2019).

Tableau 2 : Résumé des putois à pieds noirs réintroduits dans la Wolf Creek Management Area, de 2001 à 2006 (Holmes et United States., 2008)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Putois vivants 30j après la réintroduction	6	1	2	3	6	3
Putois des années précédentes	N/A	1	1	3	6	8
Putois nés à l'état sauvage	N/A	0	0	0	1	2
Estimation minimale de la population en fin d'année	6	2	3	6	13	13

Tableau 3 : Nombre total de putois à pieds noirs observés dans la Wolf Creek Management Area, entre 2001 et 2006

Année	Sexe	NÉS EN CAPTIVITÉ		NÉS À L'ÉTAT SAUVAGE	Total	Dates de réintroduction	Total sur l'année
		Petits	Adultes	Tous les petits			
2001	Mâle	17	0	0	17	15/11/01 au 23/11/01	35
	Femelle	11	7	0	18		
2002	Mâle	8	1	0	9	15/08/02 au 19/11/02	28
	Femelle	12	7	0	19		
2003	Mâle	17	2	6	25	16/08/03 au 19/11/03	63
	Femelle	20	14	4	38		
2004	Mâle	25	0	0	25	06/10/04 au 16/11/04	44
	Femelle	18	1	0	19		
2005	Mâle	13	0	0	13	13/10/05 au 02/11/05	19
	Femelle	6	0	0	6		
2006	Mâle	17	0	0	17	26/09/06 au 09/11/06	28
	Femelle	10	1	0	11		
Total							217

□ Dans le Dakota du Sud

Le Dakota du Sud compte 6 sites de réintroduction que sont : le Conata Basin, la Cheyenne River Indian Reservation, la Rosebud Indian Reservation, la Lower Brule Indian Reservation, Wind Cave et le Bad River Ranch. Le Conata Basin est considéré comme le site de réintroduction du putois à pieds noirs le plus important, avec une population stable d'environ 200 individus depuis plusieurs années. Il fait partie des 4 sites de réintroduction considérés comme les plus stables aux Etats-Unis avec l'Aubrey Valley en Arizona, la Cheyenne River Reservation dans le même état, et le Shirley Basin dans le Wyoming (U.S. Fish and Wildlife Service, 2013). Entre 1994 et 1996, 70 jeunes putois à pieds noirs ont été relâchés dans le parc national des Badlands. À la suite du premier lâcher en 1994, deux portées ont vu le jour à l'état sauvage. Par la suite, 18 individus ont été détectés lors d'études menées au milieu de l'hiver 1995-1996 (McDonald et Plumb, 1996). Ce sont 164 individus qui ont été réintroduits entre 1999 et 2006, et depuis ce sont au moins 146 adultes (dont 97 femelles) qui ont été aperçus sur 8 500 ha en 2009 (Jachowski *et al.*, 2011), 120 individus sur 5 500 ha en 2020 (Chamois, 2020) et 197 individus en 2022, soit environ 70% de la population présente à l'état sauvage (THE NATURE CONSERVANCY, 2023).

□ Dans le Montana

L'état du Montana a participé à la réintroduction du putois à pieds noirs aux Etats-Unis dès 1994, avec la réintroduction d'individus dans l'UL Bend National Wildlife Refuge situé dans le Charles M. Russell National Wildlife Refuge. Cette population est l'une des plus étudiées à ce jour. D'autres localisations ont aussi été sélectionnées pour accueillir des populations de putois à pieds noirs comme certaines terres gérées par le BLM, ainsi que dans des réserves amérindiennes telles que celles de Fort Belknap, Northern Cheyenne et Crow (U.S. Fish and Wildlife Service, 2013). Comme le reste des états participant à la réintroduction de l'espèce, une épidémie de peste sylvatique a ralenti les réintroductions au Montana à partir de 2008. Fort heureusement les mesures mises en place pour lutter contre cette maladie et la forte implication des tribus amérindiennes ont permis de reprendre les lâchers d'individus. En 2013, l'UL Bend National Wildlife Refuge et la Fort Belknap Indian Reservation ont respectivement réintroduit 20 et 32 putois nés en captivité afin de booster la population déjà présente. En septembre 2015, ce sont 15 individus qui ont été relâchés à Fort Belknap (cf. Figure 18) avec le soutien du Fonds mondial pour la nature (WWF), sur un total de 67 individus relâchés dans la réserve depuis le début des opérations (World Wildlife Fund, 2016). Le Safe Harbour Agreement promet le relâcher d'environ 20 individus chaque année, afin d'enrichir la population installée dans la réserve (Crow Tribe Legislature, 2015).



Figure 18 : : Femelle putois à pieds noirs relâchée à Fort Belknap en 2014 (Larry Beckner)

□ En Arizona

En 1996 Aubrey Valley, en Arizona, est devenu le cinquième site à pouvoir accueillir une population de putois à pieds noirs en vue de sa réintroduction dans cet état (Esch *et al.*, 2005). Depuis, le site d'Aubrey Valley (Aubrey Valley Experimental Population Area (AVEPA)) est considéré comme abritant l'une des populations les plus stables. En 2007, un nouveau site de réintroduction a été établi : l'Espee Ranch. En 2012, des individus ont été observés se dispersant en dehors du site de réintroduction, à Double O Ranch. Ce site a alors été ajouté à la liste des sites de réintroduction. Cette même année, 123 adultes ont été dénombrés dans l'état. Entre 2017 et 2019, 62 putois à pieds noirs ont été capturés afin de leur poser des colliers émetteurs dans l'objectif de suivre leurs déplacements et interactions avec leur milieu naturel. De plus en 2019 et en 2020, l'Arizona Game and Fish Department (AZGFD), a utilisé des chiens de détection et des drones dans le même but, déployant ainsi de nombreuses techniques pour suivre et collecter des données sur les sites de réintroduction (Arizona Game and Fish Department, 2023).

En 2021 dans le cadre des efforts déployés, l'USFWS, en coordination avec plusieurs tribus amérindiennes et l'AZGFD, a proposé la réintroduction de populations expérimentales de putois à pieds noirs issues de programme d'élevage *ex situ* dans une grande partie du nord et du sud-ouest de l'Arizona, y compris au sein des terres amérindiennes, ainsi qu'en Utah et au Nouveau Mexique. Cette aire nommée « South Western Nonessential Experimental Population Area » (SWEPA) (cf. Figure 19), est plus large que l'AVEPA et inclus cette dernière en son sein. Cette loi, adoptée en 2023, a permis l'extension de l'aire de réintroduction du putois à pieds noirs et, dans le cadre de la règle 10(j) de l'ESA, la facilitation de la participation des organismes privés au programme (U.S. Fish and Wildlife Service, 2023). La figure 19 présentée ci-dessous permet ainsi de visualiser la SWEPA mais surtout de souligner son importance au sein de l'état de l'Arizona.

Le plan de restauration du putois à pieds noirs prévoit comme critère de radiation de la liste des espèces en danger de cet état, une population de 74 adultes reproducteurs sur une aire de 6 880 ha d'habitat occupés par des chiens de prairie de Gunnison, et 148 adultes reproducteurs sur 13 760 ha (U.S. Fish and Wildlife Service, 2023). Compte tenu des individus dénombrés ces dernières années dans l'état et ce malgré l'épizootie de peste sylvatique, ainsi que l'extension des aires de réintroduction, la situation semble encourageante pour le putois à pieds noirs en Arizona.

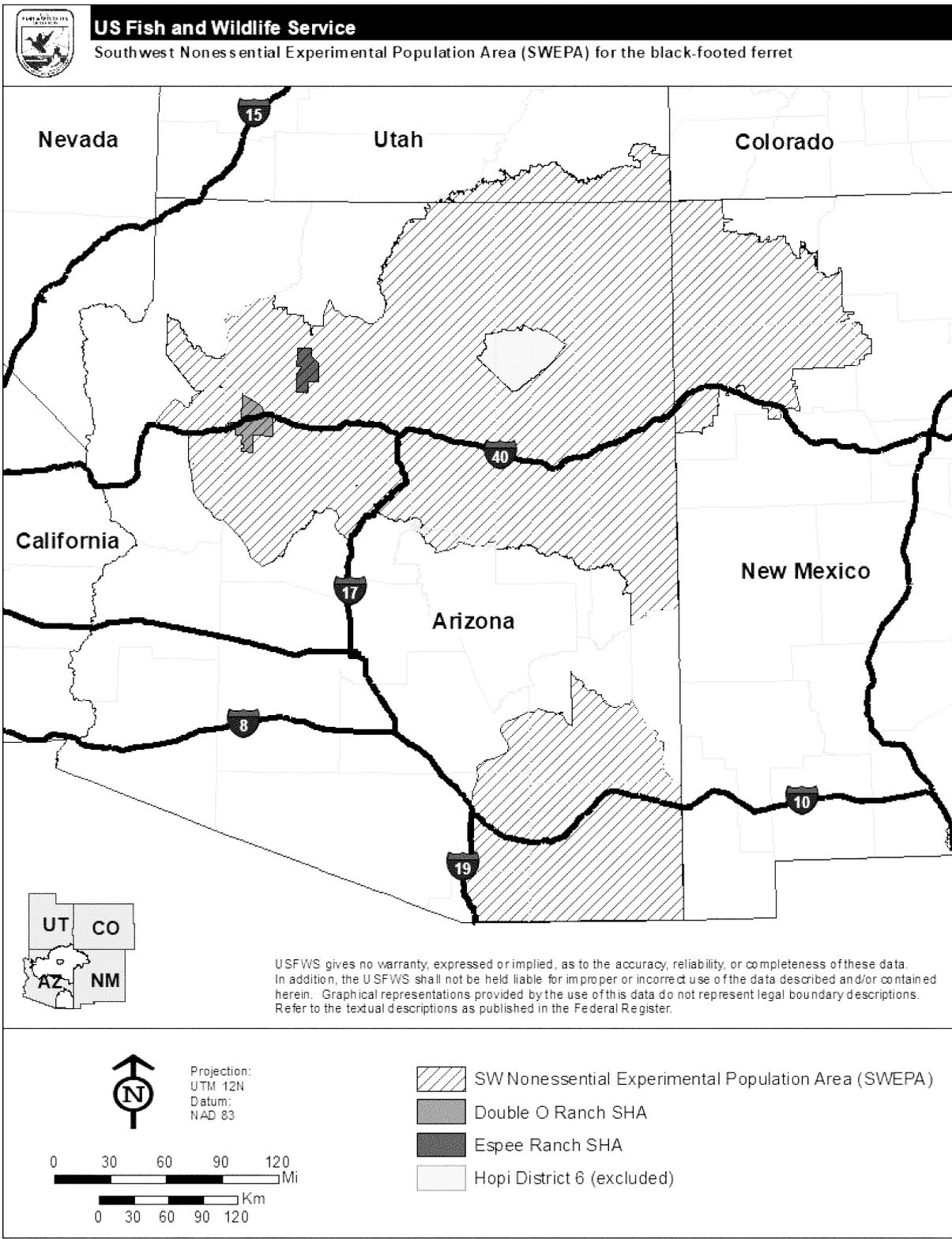


Figure 19 : Aire de répartition de la population expérimentale non essentielle de putois à pieds noirs du sud-ouest de l'Arizona (SWEPA) (USFWS, 2023).

□ Au Nouveau Mexique

C'est au Nouveau Mexique que se situe le Vermejo Ranch, près de Raton, un lieu privé d'élevage, de reproduction en captivité et de pré-conditionnement au relâcher de putois à pieds noirs abritant des colonies de chiens de prairie de Gunnison. La construction de ce centre a débuté en 1998 et a été financée par le Turner Endangered Species Fund's (TESF). Il se compose d'enclos extérieurs délimités par des filets électriques permettant d'éloigner les prédateurs terrestres du putois à pieds noirs. Par la suite, le TESF a lancé d'autres projets de pré-conditionnement sauvage dans des ranchs voisins (Turner Endangered Species Fund, 2019). Par exemple en 2007 au Vermejo Park Ranch, 6 familles de putois à pieds noirs nés en captivité ont été relâchés. Ce sont au total 26 individus qui ont été introduits dans une colonie de 416 ha afin de les préconditionner au milieu sauvage (Chipault *et al.*, 2012). En 2012, des individus ont été relâchés au sein de colonies de chiens de prairie de Gunnison et les taux de reproduction et de survie étaient très encourageants et suggéraient la possibilité de déclasser dans les années à venir le putois à pieds noirs de la liste des espèces en danger dans l'état du Nouveau Mexique. Malgré les efforts mis en place, la population de chiens de prairie à queue noire ne put soutenir une population stable de putois à pieds noirs, d'autant plus après les périodes de sécheresse répétées qui ont décimé la population de proies. Les lâchers ont donc été arrêtés en 2013 au sein de ces colonies.

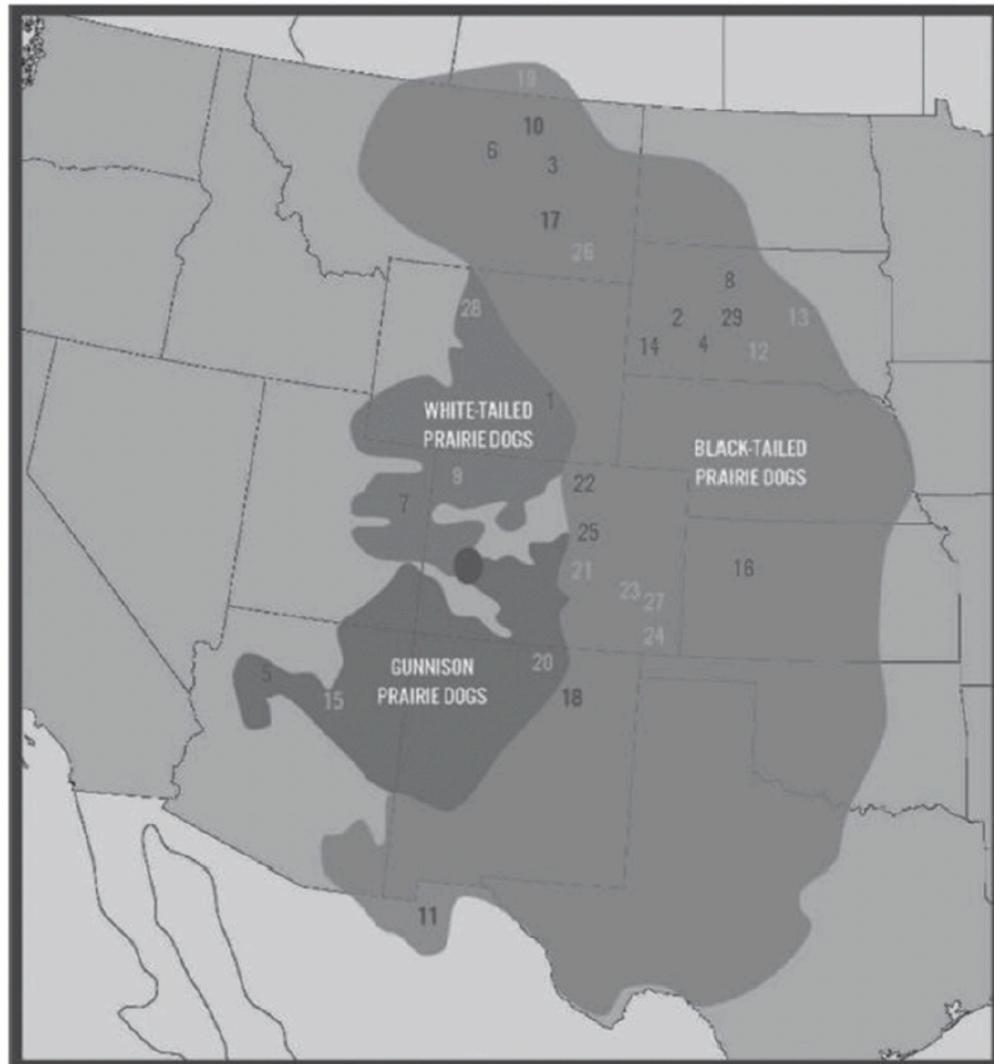
□ Au Mexique

La réserve naturelle Janos Biosphere dans l'état du Chihuahua au Mexique abrite une forte population de chiens de prairie et a de ce fait été sélectionnée pour la réintroduction du putois à pieds noirs en 2001 (Esch *et al.*, 2005). Cette réserve inclue des terres publiques et privées. En novembre 2001, plus de 25 putois à pieds noirs provenant de Virginie, du Wyoming et du Nouveau Mexique ont été introduit dans cette réserve, rejoignant ainsi les 38 individus relâchés au cours du mois précédent. L'USFWS et l'université nationale autonome du Mexique ont relâché les furets dans les environs de Janos, non loin du Texas. Les individus relâchés sont nés en captivité au National Black-footed Ferret Conservation Center près de Laramie dans le Wyoming, au Smithsonian National Zoological Parks Conservation and Research Center de Front Royal en Virginie, et au Vermejo Ranch à Raton au Nouveau-Mexique (U.S. Fish and Wildlife Service, 2001). Entre 2001 et 2004, 8 relâchés ont été réalisés (Lockhart *et al.*, 2006).

□ Au Canada

Depuis 1938, aucun putois à pieds noirs n'a été répertorié à l'état sauvage au Canada. Entre 2009 et 2012, plusieurs individus ont été réintroduits dans le Grasslands National Park dans l'état de Saskatchewan. Malheureusement le déclin des chiens de prairie a poussé le gouvernement canadien à stopper le programme de réintroduction soutenu par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) en 2013. Le putois à pieds noirs persiste en captivité dans le pays, au zoo de Toronto, et pourrait être relâché à l'avenir dans la nature,

après le rétablissement d'une population suffisante et stable de chiens de prairie (COSEPAC, 2021).



- | | |
|--|--|
| 1. Shirley Basin, WY (1991) | 16. Logan County, KS (2007) |
| 2. Badlands NP, SD (1994) | 17. Northern Cheyenne Reservation, MT (2008) |
| 3. UL Bend NWR, MT (1994) | 18. Vermejo Park Ranch, NM (2008) |
| 4. Conata Basin, SD (1996) | 19. Grasslands NP, SK, Canada (2009) |
| 5. Aubrey Valley, AZ (1996) | 20. Vermejo Park Ranch, NM (2012) |
| 6. Ft. Belknap Reservation, MT (1997) | 21. Walker Ranch, CO (2013) |
| 7. Coyote Basin, UT (1999) | 22. Soapstone Complex, CO (2014) |
| 8. Cheyenne River Reservation, SD (2000) | 23. North Holly Complex, CO (2014) |
| 9. Wolf Creek, CO (2001) | 24. Liberty Complex, CO (2014) |
| 10. BLM 40-Complex, MT (2001) | 25. Rocky Mountain Arsenal National Wildlife Refuge, CO (2015) |
| 11. Janos, Mexico (2001) | 26. Crow Indian Reservation, MT (2015) |
| 12. Rosebud Reservation, SD (2004) | 27. South Holly Complex, CO (2015) |
| 13. Lower Brule Reservation, SD (2006) | 28. Meeteetse, WY (2016) |
| 14. Wind Cave NP, SD (2007) | 29. Bad River Ranch, SD (2017) |
| 15. Espee Ranch, AZ (2007) | |

Figure 20 : Localisation géographique des sites de réintroduction du putois à pieds noirs entre 1991 et 2017 (Santymire, 2019)

La figure 20 dresse le classement par ordre chronologique des sites de réintroduction du putois à pieds noirs entre 1991 et 2017. Elle sert de bilan visuel et permet ainsi de constater l'étendue du projet ainsi que les nombreux états investis dans le programme de restauration de l'espèce. Le tableau fourni en Annexe 2 apporte des informations complémentaires sur les sites de réintroduction. La figure 21 se trouvant ci-dessous, vient compléter la figure 20 et permet de visualiser la répartition géographique des sites de réintroduction en Amérique du Nord qui se concentrent dans la région des Grandes Plaines.

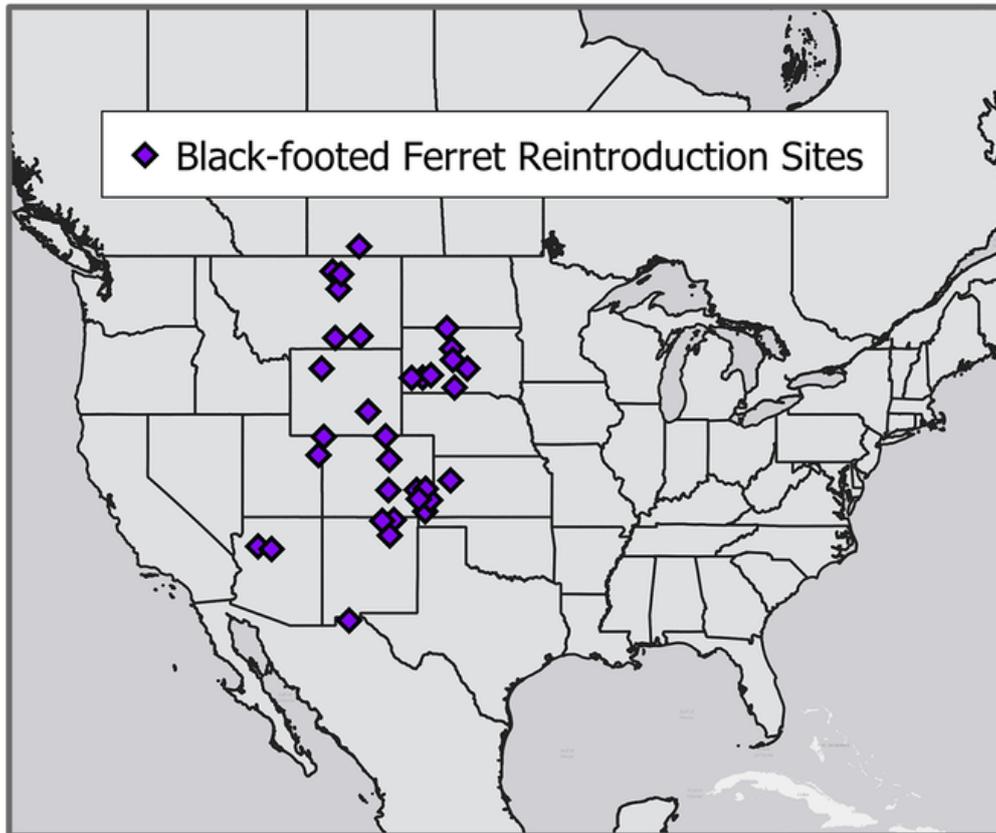


Figure 21 : Localisation géographique des sites de réintroduction du putois à pieds noirs en 2023 (« Home - blackfootedferret.org », 2023)

□ Implication des institutions

Le programme d'élevage en captivité du putois à pieds noirs a été lancé en 1985 par le WGFD en coopération avec l'USFWS (Belant *et al.*, 2015). Actuellement, 6 institutions dont un établissement fédéral et 5 zoos participent au programme de reproduction en captivité du putois à pieds noirs dans le cadre du Survival Specie Program (SSP) de cette espèce : l'USFWS National Black-footed Ferret Conservation Center (NBFFCC) près Wellington dans le Colorado, la Smithsonian Conservation Biology Institute située en Virginia et jumelée au Zoo de Washington aussi appelé Smithsonian National Zoo, le Zoo de Cheyenne Moutain dans le Colorado, le Parc zoologique de Louisville dans le Kentucky, le Zoo de Phoenix en Arizona et le

Zoo de Toronto en Ontario au Canada (cf. Figure 22). Avant la fin des années 1990, le Zoo de Henry Doorly dans le Nebraska participait aussi au programme (U.S. Fish and Wildlife Service, 2013). Depuis 1985, plus de 9 000 individus sont nés en captivité. Rien qu'en 2014, 323 petits ont été sevrés et 202 ont été relâchés dans 9 sites de réintroduction distincts (Belant *et al.*, 2015). A titre indicatif, la Smithsonian Conservation Biology Institute et le Parc zoologique de Louisville ont respectivement vu naître plus de 1 000 putois à pieds noirs depuis 1991, le Zoo de Phoenix plus de 500, et le Zoo de Cheyenne Moutain a élevé 589 petits entre 1991 et 2022.

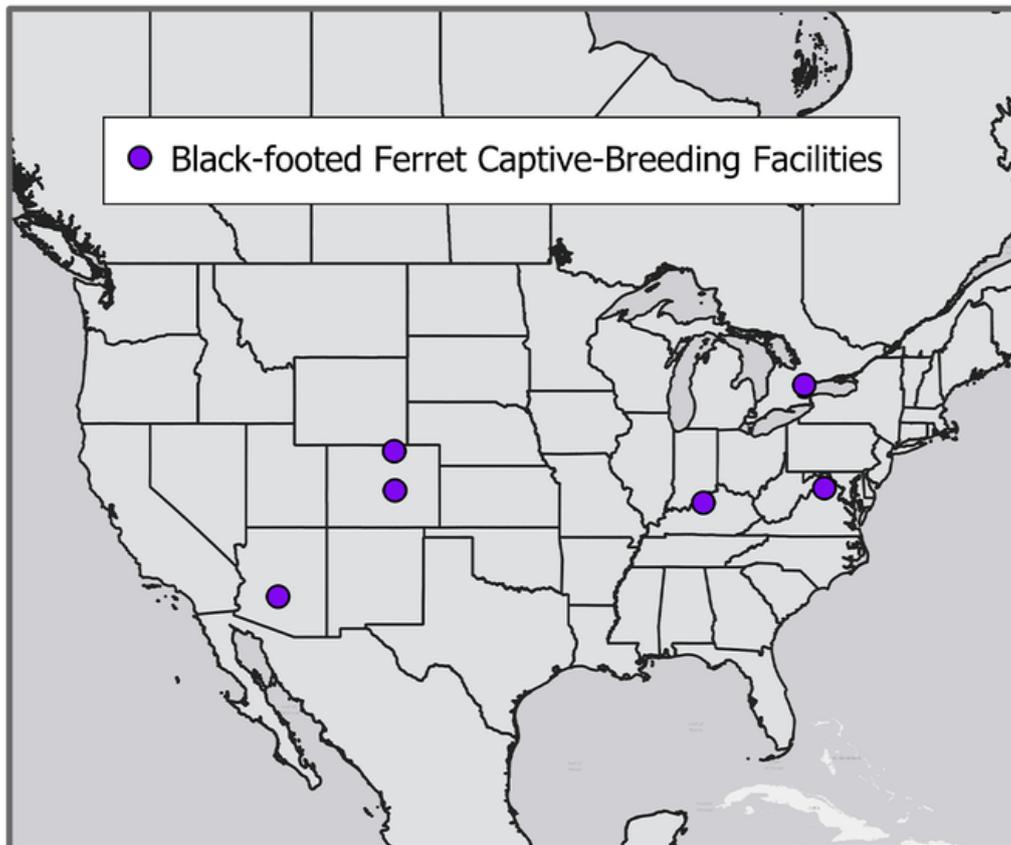


Figure 22 : Installations faisant partie du SSP et du programme d'élevage ex situ de putois à pieds noirs (points violets) (« Home - blackfootedferret.org », 2023)

Concernant la figure 22, il est important de retenir que les institutions participant à l'élevage en captivité du putois à pieds noirs ne se trouvent pas forcément à proximité des sites de réintroduction. En effet des installations spécifiques sont nécessaires, tout comme la présence d'un personnel qualifié. Une grande partie des individus élevés en captivité est donc transportée sur de grandes distances avant d'être relâchée dans son milieu naturel. De plus, cette répartition souligne le caractère national de l'intérêt suscité par la sauvegarde du putois à pieds noirs.

iii. Les programmes de conservation : entre protection des proies et du putois à pieds noirs

□ Protection des chiens de prairie

Parmi les menaces pesant sur le putois à pieds noirs aux cours des dernières années, la peste sylvatique est très probablement la plus importante avec des milliards de chiens de prairie décimés d'après Eads et Hoogland (2016). Les épizooties régulières affaiblissent ces populations du fait d'un taux de mortalité pouvant atteindre les 100% chez cette espèce (Cully *et al.*, 2010). La disparition du chien de prairie impactant directement le putois à pieds noirs, les organismes impliqués dans les programmes de conservation de ce dernier ont élaboré et mis en place différents plans de lutte contre cette maladie. De larges campagnes de désinsectisation des terriers de chiens de prairie ont été menées dans les différents sites de réintroduction où la maladie avait été détectée. Des campagnes de pulvérisation de deltaméthrine ont permis de réduire de 80% l'occurrence d'épizooties ainsi que leur intensité, diminuant alors le risque d'extinction des chiens de prairie (Seglund et Schnurr, 2010). Cependant les puces ont développé une résistance au traitement à la deltaméthrine après plusieurs applications, une étude a montré que l'utilisation d'appâts contenant du fipronil permettait une lutte efficace contre ces parasites et pouvait ainsi remplacer le précédent traitement en cas d'échec (Eads *et al.*, 2022). De plus, la répartition d'appâts au fipronil est plus rapide à réaliser que l'application individuelle d'insecticide dans chaque terrier ce qui permet d'agir plus rapidement en cas de crise, et elle est aussi moins nocive pour l'environnement. Une troisième manière de lutter contre la peste sylvatique est la vaccination des chiens de prairie à l'aide d'appâts contenant un vaccin offrant une immunité contre *Y. pestis*. Le vaccin utilisé est un poxvirus recombinant de raton laveur, modifié pour exprimer deux antigènes protecteurs de *Y. pestis*, le F1 et une protéine V tronquée. Ce vaccin serait efficace dès la première ingestion et offrirait une protection d'au moins 9 mois (Abbott *et al.*, 2012), cependant de récentes études ont montré que la protection offerte par ce vaccin pouvait être incomplète, mettant ainsi en danger la réintroduction de putois à pieds noirs sur certains sites (Matchett *et al.*, 2021 ; Rocke *et al.*, 2017).

□ Protection des putois à pieds noirs

Le putois à pieds noirs est aussi sensible à la peste sylvatique avec un taux de mortalité pouvant atteindre 90% selon une étude (Godbey *et al.*, 2006). De ce fait, des campagnes de vaccination utilisant le même type de vaccin recombiné que celui utilisé pour les chiens de prairie ont été mises en place. Ce vaccin apporterait une protection efficace chez 70% des individus qui durerait au minimum 6 mois (Rocke *et al.*, 2006). Parallèlement, un suivi de la prévalence de la peste sylvatique dans les aires de réintroduction est réalisé sur les espèces

pouvant être infectées et peuplant ces mêmes aires comme le coyote et le blaireau d'Amérique (Matchett *et al.*, 2010). De plus, la vaccination contre la maladie de Carré a été standardisée au sein des établissements d'élevage du putois à pieds noirs et est aussi réalisée dès que cela est possible sur les individus capturés à l'état sauvage (Wimsat *et al.*, 2006). Le vaccin utilisé est un vaccin recombinant vectorisé par un poxvirus de canari (Wright *et al.*, 2022). Par ailleurs, d'autres actions sont menées afin d'assurer la protection sanitaire du putois à pieds noirs comme la sensibilisation des propriétaires d'animaux de compagnie sur l'importance des soins vétérinaires. En effet les animaux domestiques et plus particulièrement les chiens peuvent transmettre des maladies et des parasites au putois à pieds noirs, mettant ainsi en danger sa réintroduction (Santymire, 2020).

Un autre moyen de protection mis en place par les programmes de réintroduction est l'installation de clôtures électriques permettant d'éloigner les prédateurs terrestres, comme le coyote, des sites d'élevage et de réintroduction du putois à pieds noirs (Matchett *et al.*, 2013).

iv. AZA Black-Footed Ferret SAFE Program

L'Association des Zoos et Aquariums (AZA) a mis en place le programme Saving Animals From Extinction (SAFE) en tant que cadre pour la conservation des espèces menacées d'extinction. Ce projet a pour but de protéger les animaux menacés via la mise en œuvre de stratégies de conservation et d'engagement des organismes et des personnes impliqués dans la conservation, en favorisant la collaboration entre les institutions et les membres de l'AZA. Ce projet s'appuie sur des plans de reconstitution et sur l'historique de l'engagement et mesure les progrès réalisés en matière de conservation.

Guy Graves et Rachel Santymire sont les coordinateurs du Black-Footed Ferret SAFE Program (BFF SAFE Program) et sont en collaboration étroite avec l'USFWS qui se charge principalement de dialoguer avec les différents agents impliqués, comprenant aussi les agriculteurs et les responsables des parcs nationaux et des services forestiers des États-Unis, de la gestion et de la conservation du putois à pieds noirs. Le comité de direction regroupe 6 membres, travaillant dans les installations participant activement à l'élevage des putois à pieds noirs en captivité évoquées précédemment (cf. Figure 22). Par ailleurs, de nombreuses institutions sont accréditées par l'AZA et participent ainsi aux différents projets de conservation menées par l'association. Actuellement, 237 institutions et 15 installations sont accréditées. Par exemple entre 2011 et 2015, parmi ces établissements, 22 ont contribué à hauteur d'environ 5,8 millions de dollars à 32 projets de conservation sur le terrain au profit du putois à pieds noirs.

L'objectif principal du BFF SAFE Program est dans un premier temps de déclasser le putois à pieds noirs de la liste des animaux en danger d'extinction définie par l'ESA, afin qu'il soit

classé dans la liste des espèces menacées, puis dans un second temps de le radier définitivement de cette dernière. Pour cela, un plan d'action et des objectifs plus détaillés ont été établis :

- 1) Soutenir le programme d'élevage des individus du SSP en utilisant une gestion scientifique pour augmenter le nombre d'individus disponibles pour le programme de réintroduction en augmentant le taux de mise bas de toutes les femelles du SSP jusqu'à 60% d'ici 2021.
- 2) Travailler avec le Comité d'éducation à la conservation (CEC) et le Comité des relations publiques et du marketing pour développer un plan stratégique dans ces deux domaines.
- 3) Augmenter le soutien financier annuel de l'AZA pour les efforts de restauration du putois à pieds noirs, y compris le financement des activités de terrain et de gestion des soins.

D'après le plan de restauration élaboré par l'USFWS, afin de déclasser le putois à pieds noirs de la liste des espèces en voie d'extinction, 1 500 adultes reproducteurs sont nécessaires répartis au minimum dans 10 populations comprenant chacune au moins 30 adultes reproducteurs, réparties dans 6 à 12 états de l'aire de répartition historique de l'espèce. Parmi ces populations, 3 d'entre elles doivent se trouver dans des colonies de chiens de prairie de Gunnison ou à queue blanche. Les critères de radiation sont plus exigeants et impliquent une population d'au moins 3 000 adultes reproducteurs en liberté répartis dans 30 populations ou plus, dont 10 d'entre elles regroupent au moins 100 individus adultes reproducteurs. La répartition des populations doit se faire dans au moins 9 des 12 états de l'aire de répartition historique de l'espèce. De même que pour le déclassement, 5 populations doivent se trouver dans des colonies de chiens de prairie de Gunnison ou à queue blanche.

Les principales actions de conservation menées par l'AZA prennent la forme de programmes de sensibilisation à la conservation, de récoltes de fonds, de gestion des maladies, la réalisation et le soutien de recherches scientifiques comme les études menées sur la génomique et la reproduction du putois à pieds noirs, et favorisent la collaboration entre les zoos, les agences gouvernementales et les autres acteurs de la conservation de cette espèce.

Grâce à ces programmes, plus de 9 300 putois à pieds noirs ont été produits entre 1987 et 2018 au sein des élevages *ex situ*, dont environ 4 300 individus ont été réintroduits au sein de 30 sites dédiés à cela. Actuellement, environ 300 individus évolueraient à l'état sauvage, et tout autant en captivité. Même si les données actuelles sont encourageantes, il reste encore beaucoup d'efforts à fournir pour radier le putois à pieds noirs de la liste des espèces en voie d'extinction (Santymire et Graves, 2018)

v. Environmental Quality Incentives Program

Le Natural Resources Conservation Service (NRCS) appartenant au ministère de l'Agriculture des Etats-Unis a mis en place l'Environmental Quality Incentives Program (EQIP), un programme de conservation aidant les agriculteurs, les éleveurs et les propriétaires de forêts à intégrer des mesures de conservation dans leur travail. En participant au programme, une aide technique et un soutien financier leur sont fournis. L'objectif principal du programme est la protection des ressources naturelles, tel que :

- L'amélioration de la qualité de l'eau et de l'air.
- La conservation des eaux souterraines et de surface.
- L'amélioration de la santé des sols.
- La réduction de l'érosion des sols et de la sédimentation
- L'amélioration ou création d'habitats pour la faune et la flore.
- L'atténuation des effets de la sécheresse et de la volatilité croissante des conditions météorologiques.

Le NRCS établit avec chaque producteur un plan de conservation personnalisé proposant des pratiques et des activités en accord avec la conservation de l'environnement et permettant de résoudre les problèmes de ressources de l'exploitation en question. Grâce à ce programme, le NRCS participe activement à la préservation de l'écosystème prairie permettant ainsi de restaurer et protéger durablement l'habitat essentiel du putois à pieds noirs. Depuis 2014, il apporte son soutien technique et financier en mettant en œuvre des plans de pâturage respectueux de l'environnement, en organisant la gestion et la surveillance de l'habitat de la faune sauvage des prairies. Actuellement, le NRCS a aidé à sécuriser 7 sites de réintroduction du putois à pieds noirs dans le Colorado et a investi plus de 1,1 million de dollars par le biais de l'EQIP en protégeant plus de 7 000 ha de prairie (Natural Resources Conservation Service, 2023).

Ainsi, les différents programmes de conservation établis à ce jour permettent la protection du putois à pieds noirs, mais aussi celle de son habitat naturel et de ses proies de prédilection, participant ainsi à optimiser les chances de son retour à l'état sauvage. Les données actuelles sur l'état des différentes populations présentes en captivité et à l'état sauvage sont encourageantes mais témoignent de la nécessité de persévérer dans la mise en place et la réalisation d'efforts de conservation. En effet, en 2013, 4 sites de réintroduction ont été désignés comme abritant des populations de putois à pieds noirs stables : le site du Conata Bassin, la réserve Sioux de Cheyenne River, celle du Shirley Bassin, et celle d'Aubrey Valley (U.S. Fish and Wildlife Service, 2013). La diversité des acteurs participant à ces programmes,

allant de l'échelle locale avec les propriétaires d'exploitations agricoles, à l'échelle nationale avec les institutions gouvernementales de protection des terres et de l'environnement, est un élément clé de la réussite du Programme de Restauration du Putois à pieds noirs.

II. Apports des programmes de conservation : l'acquisition de connaissances scientifiques et techniques

a. Acquisition de connaissances scientifiques et techniques concernant la gestion du putois à pieds noirs

Comme évoqué précédemment, plus de 9 000 putois à pieds noirs ont été élevés en captivité depuis 1985. De ce fait, les scientifiques en charge de ces individus ont pu récolter de nombreuses données au cours des différents projets de recherche menés en parallèle du programme de reproduction. Différents travaux ont ainsi permis d'élargir les connaissances biologiques et écologiques sur le putois à pieds noirs.

i. Données biologiques assimilées grâce aux programmes de conservation

□ Données physiologiques

L'élevage de nombreux individus en captivité a permis de rassembler d'importantes données concernant le développement postnatal ainsi que les différentes étapes qui le composent. De ce fait, de nombreuses caractéristiques physiques ont pu être décrites précisément pour cette espèce dont les données scientifiques manquaient cruellement. En effet, le putois à pieds noirs vit principalement dans les terriers et il est donc très difficile de l'observer à l'état sauvage. Grâce à ces observations rapprochées, l'apparition et l'aspect du pelage, la conformation et l'ouverture des yeux, l'aspect des coussinets, la mobilité, l'utilisation des membres et les premiers déplacements des petits ont pu être détaillés. Les distinctions physiques entre mâle et femelle ont été affinées. La formule dentaire étant identique pour tous les membres du genre *Mustela*, seule la chronologie de la pousse des dents a été décrite pour la première fois grâce à ces programmes (Vargas et Anderson, 1996). Le régime alimentaire du putois pieds noirs a été très largement étudié afin d'obtenir des informations concernant ses besoins et dépenses énergétiques, dans l'objectif de pouvoir élever dans les meilleures conditions possibles les individus présents en captivité (Brickner *et al.*, 2014 ; Powell *et al.*, 1985). Certaines études se sont intéressées à l'analyse des selles de cette espèce, ce qui a permis d'apporter des informations sur la physiologie digestive, mais aussi sur les glandes de marquages et leurs sécrétions apportant des informations sur la communication olfactive (U.S. Fish and Wildlife Service, 1978). De plus, les différentes pathologies affectant l'espèce ont été répertoriées et étudiées (U.S. Fish and Wildlife Service, 2008).

□ Données comportementales

L'élevage en captivité a permis d'observer de très près les interactions et les moyens de communication entre une mère et ses petits, mais aussi entre les petits au cours de leur développement (Vargas et Anderson, 1996). Les activités du putois à pieds noirs ont pu être détaillées telles que la chasse, le toilettage, les périodes de jeu et de repos. En effet des expériences de pré-conditionnement détaillées plus loin ont été menées pour apprendre au putois à pieds noirs nés en captivité à chasser avec la libération de chiens de prairie dans les enclos d'élevage. De plus, l'utilisation de la reproduction assistée nécessite de suivre de très près le cycle sexuel des individus qui sont ainsi régulièrement observés à l'aide de caméras, et manipulés dans le cadre d'examen complémentaires. Le budget temps accordé à ces différentes activités a ainsi pu être déterminé sur une journée, mais aussi sur l'année. Les études ont démontré que les activités du putois à pieds noirs n'étaient pas les mêmes selon les saisons. Par exemple, en été, il passe beaucoup plus de temps à creuser l'entrée des terriers qu'en période hivernale (Eads *et al.*, 2012). L'impact de la prédation sur le comportement mais aussi sur la dynamique de la population a été étudié (U.S. Fish and Wildlife Service, 2008). De la même manière, les superficies occupées et nécessaires à un individu ont pu être établies selon s'il s'agissait d'un mâle ou d'une femelle, avec ou sans petits (Jachowski *et al.*, 2010).

ii. Connaissances assimilées sur la gestion en captivité du putois à pieds noirs

□ Préférences environnementales

L'étude de Biggins *et al.* (2004) s'est intéressée aux caractéristiques de l'habitat préférentiellement choisi au quotidien par les putois à pieds noirs. Cette étude a analysé l'utilisation des terriers de chiens de prairie par des individus portant des colliers émetteurs afin de définir l'habitat optimal du putois à pieds noirs. Des points clés ressortent de l'étude, tels que la préférence pour un environnement que le chien de prairie investit, les environnements avec une forte densité de proies étant de plus favorisés. Le temps passé à parcourir les terriers a été analysé et le putois à pieds noirs passe en moyenne 11% de son temps en dehors de la colonie de chiens de prairie qu'il occupe, et dans 88% des cas, ces excursions se soldent par un retour à l'intérieur de la colonie. De plus, cette étude a montré qu'il n'y avait pas de compétition intraspécifique significative entre les différents individus étudiés.

□ Intérêt des expériences de conditionnement

La prédation est une des principales menaces mettant en danger la survie du putois à pieds noirs dans le milieu sauvage. Les premières tentatives de relâcher en ont fait les frais et ont démontré que les deux premières semaines suivant la mise en liberté d'individus élevés en captivité représentaient une période critique durant laquelle la majorité des putois à pieds noirs mourrait des suites de la prédation, et indirectement de leur faible capacité à chasser de manière efficace (Poessel *et al.*, 2011). En effet, les caractéristiques du milieu dans lequel les individus sont relâchés influent sur la probabilité de survie, tels que la présence de perchoirs

à proximité du lieu de réintroduction (Poessel *et al.*, 2011). Ceci appuie l'intérêt de préparer les individus à la réintroduction en les conditionnant à la chasse mais aussi à des situations de prédation dans des enclos extérieurs (cf. Figure 22). L'amélioration de leur technique de chasse participe à réduire leur temps d'exposition en dehors des terriers, où ils sont plus vulnérables face aux prédateurs terrestres et aériens tels que le coyote, le blaireau ou le grand-duc d'Amérique. Du fait du nombre réduit de putois à pieds noirs, ces expérimentations de pré-conditionnement ont d'abord été menées sur le putois des steppes, très proche phylogénétiquement du putois à pieds noirs et dont le statut de conservation est de préoccupation mineure (Maran *et al.*, 2015 ; Miller *et al.*, 1990a, 1990b). L'application des expériences de pré-conditionnement a démontré que les putois à pieds noirs exposés régulièrement à des chiens de prairie présentaient des techniques de chasse plus efficaces que ceux nourris à l'aide de petits rongeurs (cf. Figure 23). De plus, les individus élevés en extérieur dans des enclos simulant un environnement naturel s'aventuraient moins loin et moins longtemps que les individus élevés en cage. Ceci souligne une plus grande vulnérabilité des individus non conditionnés à un milieu sauvage comparativement à des individus conditionnés (Biggins *et al.*, 1999, 2011). L'étude de Biggins *et al.* (1999) soulève aussi l'hypothèse d'une plus grande résistance des individus conditionnés du fait de leur exposition à des conditions environnementales plus rudes, à des maladies, à un exercice physique plus régulier et plus intense mais aussi du fait d'une moindre imprégnation par l'être humain. La réussite de ces expériences de pré-conditionnement ont donné lieu à une systématisation de cette procédure avant la réintroduction des individus, et de nouvelles infrastructures de ce type ont été construites comme celle du Vermejo Ranch.



Figure 23 : Enclos de pré-conditionnement du USFWS Black-Footed Ferret Conservation Center (Releasing Ferrets Into Their Prairie Home | National Geographic, 2015)



Figure 24 : Putois à pieds noirs à l'entrée d'un terrier dans un enclos de pré-conditionnement du USFWS Black-Footed Ferret Conservation Center (Releasing Ferrets Into Their Prairie Home | National Geographic, 2015)

□ Biosécurité

L'élevage en captivité de putois à pieds noirs a donné lieu à la mise en place de mesures de biosécurité dans l'objectif d'élever des individus sains et protégés des maladies pouvant être rencontrées une fois réintroduits en milieu naturel. Des protocoles de vaccination contre la maladie de Carré et la rage ont été instaurés (U.S. Fish and Wildlife Service, 2017). L'utilisation de vaccin vivant modifié contre la maladie de Carré est interdite du fait de décès rapportés dans les jours suivant la vaccination des individus, avec l'induction de la maladie par le vaccin, l'atténuation n'étant pas suffisante pour cette espèce (Carpenter *et al.*, 1976). L'élevage de putois à pieds noirs se fait au sein de zones de quarantaine avec des équipements de protection individuelle, permettant ainsi de limiter toute transmission de maladie de l'homme à l'animal. Des cas de grippe ont été rapportés chez les putois à pieds noirs du zoo de Toronto en 1997, à la suite d'un cas humain. La morbidité fût élevée, surtout chez les jeunes individus, mais la mortalité est restée nulle grâce à une prise en charge par les vétérinaires du service avec la mise en place d'un traitement de soutien. Concernant les maladies parasitaires connues chez l'espèce, des protocoles ont aussi été développés pour le traitement de la coccidiose, de la cryptosporidiose, de la toxoplasmose mais aussi des vers intestinaux (U.S. Fish and Wildlife Service, 2017).

Une étude rétrospective sur les causes de mortalité du putois à pieds noirs en captivité a été menée au zoo de Washington entre 1989 et 2004 (Bronson *et al.*, 2007). Cette étude a permis de souligner l'impact positif de certaines mesures de gestion et biosécurité sur l'élevage et la survie des individus au sein du centre de reproduction et de réintroduction. Certains changements dans les méthodes d'élevage ont permis de réduire la charge

infectieuse comme l'utilisation de caisse en plastique, plus faciles à nettoyer. Cela a permis de fournir un environnement plus sain, mais aussi avec une présence humaine réduite, le nettoyage durant ainsi moins longtemps. Par ailleurs, une surveillance plus fine a été mise en place avec le lancement des protocoles de traitement dès l'apparition des premiers signes cliniques. Ces mesures ont ainsi permis de réduire le taux de mortalité et d'améliorer la reproduction.

b. Acquisition de connaissances scientifiques et techniques concernant la reproduction du putois à pieds noirs

i. L'amélioration des conditions d'élevage

□ Diminution de l'intervention humaine

L'étude de Bronson et al. (2007) révèle l'impact positif d'une diminution de la présence humaine sur la reproduction en captivité du putois à pieds noirs. En effet, la diminution de l'intervention humaine lors des périodes de reproduction, de mise-bas et de croissance des petits a permis de diminuer les cas de mortalité par du cannibalisme ou des trauma induits par la mère. Ainsi la diminution du stress d'origine anthropomorphique augmente le taux de survie des nouveau-nés, bien que l'étude précise que certains cas de cannibalisme peuvent être induits par des malformations congénitales ou la présence d'individus non viables.

□ Enrichissement du milieu

L'enrichissement du milieu est considéré depuis plusieurs années maintenant comme un composant obligatoire de l'environnement d'animaux détenus en captivité. Il permet de lutter contre l'ennui mais aussi de stimuler les différents sens selon les outils utilisés, il réduit ainsi les comportements indésirables comme les stéréotypies et les comportements d'automutilation. L'étude Meagher *et al.* (2014) s'est intéressée à l'insertion d'enrichissement dans les cages d'élevage de vison d'Amérique dans la lutte contre les comportements reflétant un état de mal-être. Ces expériences ont démontré une diminution des comportements d'agression et une augmentation des comportements de jeu chez les individus ayant reçu des éléments d'enrichissement dans leur cage. Aucun effet significatif sur les stéréotypies ou le toilettage compulsif n'est rapporté. Cependant les femelles élevées dans des cages avec des éléments d'enrichissement présentent des taux d'infertilité et de cortisol fécal réduits. De même, une durée d'accouplement plus longue est rapportée pour les mâles élevés dans des cages avec des éléments d'enrichissement. Bien que l'interprétation des réactions de peur et d'agression soit difficile et ne puisse être certaine, l'étude démontre bien l'intérêt d'introduire des éléments d'enrichissement afin d'améliorer les conditions d'élevage des mustélidés, et donc de participer à améliorer les taux de reproduction des individus détenus en captivité en particulier en ce qui concerne les espèces en danger comme le putois à pieds noirs.

□ Amélioration de la ration alimentaire

De récentes études ont évalué l'influence de la composition de la ration alimentaire sur la qualité du sperme et du succès reproductif du putois à pieds noirs, incluant la fertilité et la taille des portées. Des pistes ont pu être dégagées concernant l'intérêt de fournir une ration alimentaire basée sur des proies et de compléter la ration en vitamine E, molécule ayant une action antioxydante. L'ajout de carcasses au régime alimentaire réduit la production de glucocorticoïdes, un marqueur biologique de stress et l'ajout de vitamine E, une molécule aux propriétés antioxydantes, augmente le taux de testostérone sérique pendant la saison de reproduction, ce qui participerait ainsi à l'amélioration de la reproduction des individus maintenus en captivité, notamment grâce à la diminution du stress et l'augmentation de l'expression des comportements sexuels (Santymire *et al.*, 2020). L'ajout de proies a un effet positif global sur la qualité de l'éjaculat. Des améliorations ont été observées au niveau du poids corporel, du volume des testicules, de la motilité du sperme, et du taux de sperme sans anomalie. Néanmoins, la complémentation en vitamine E ne serait pas suffisante à elle seule pour augmenter le taux sérique de vitamine E. Il semblerait que la vitamine A entre en compétition dans les processus physiologiques d'absorption de la vitamine E chez le putois à pieds noirs, et participe ainsi à diminuer les effets d'une potentielle complémentation. Il est donc important d'analyser les éléments composant la ration alimentaire fournie dans le cadre des programmes de reproduction si l'on souhaite optimiser les capacités de reproduction des individus captifs (Santymire *et al.*, 2015). Toutefois, il a été montré que les individus nés à l'état sauvage présentaient un sperme de meilleure qualité et des testicules de plus grande taille que les individus nés en captivité.

ii. Intérêts de la reproduction assistée dans les programmes de sauvegarde du putois à

□ Le suivi des chaleurs et de la préparation des mâles

Afin de maximiser le nombre de portées produites chaque année, le suivi des chaleurs des femelles putois à pieds noirs est réalisé selon un protocole établi par le BFF SSP. Comme pour les carnivores domestiques, des examens cytologiques sont réalisés afin d'évaluer le moment de l'œstrus. Les femelles sont attrapées et examinées toutes les deux semaines jusqu'à ce qu'un gonflement vulvaire soit présent. Une fois ce dernier observé, elles sont ensuite examinées de manière hebdomadaire et des lavages vaginaux sont effectués afin de réaliser un examen cytologique du vagin (cf. Annexe 3). Les femelles putois à pieds noirs sont considérées en œstrus lorsque 90% des cellules observées au microscope sont kératinisées. L'évaluation de l'état de préparation des mâles pour la reproduction nécessite moins de manipulations puisqu'elle consiste en une simple palpation des testicules. Les mâles sont donc examinés de manière hebdomadaire et la longueur, la largeur et la fermeté des testicules sont évaluées. L'augmentation de la taille et de la fermeté des testicules indique que l'individu mâle est prêt pour la reproduction. Les jeunes mâles d'un an étant souvent sujets à l'aspermie

durant le premier mois de maturité sexuelle, il est conseillé de réaliser un recueil de semence par électro-éjaculation afin d'analyser la qualité du sperme au microscope. Une fois les individus prêts pour la reproduction, il faut attendre respectivement 4 et 6 semaines pour les jeunes et les reproducteurs de plus d'un an avant de les mettre en contact avec les femelles. Il est aussi conseillé de réaliser des électroéjaculations (cf Annexe 4) afin d'analyser le sperme de tous les individus avant la mise à la reproduction, mais cela est peu fait en pratique du fait du caractère invasif de la procédure (U.S. Fish and Wildlife Service, 2017). Lors de ces manipulations, les individus sont placés dans de petites cages de contention (cf. Figure 24).



Figure 25 : Cage de contention utilisée pour le putois à pieds noirs (USFWS, 2017)

□ La création des couples

Une fois les individus prêts pour la reproduction, ils sont mis en contact durant plusieurs nuits jusqu'à ce qu'un accouplement ait lieu. La décision d'appariement des individus se fait sur la base d'un indice de compatibilité allant de 1 à 6. Cette numérotation reflète la façon dont la progéniture du couple affecterait la génétique globale de la population de putois à pieds noirs, la valeur 1 reflétant un appariement très bénéfique pour la génétique de la population. L'indice est calculé par un logiciel analytique qui fournit ensuite une matrice d'évaluations génétiques pour chaque couple reproducteur possible. La décision revient ensuite au coordinateur de l'élevage, qui met ensemble en premier lieu les couples à l'indice le plus faible (U.S. Fish and Wildlife Service, 2017).

□ Le diagnostic de gestation

Une fois l'accouplement constaté, une cytologie vaginale est effectuée pour contrôler la présence de sperme dans le vestibule du vagin. Si tel est le cas, les individus sont laissés

ensemble quelques jours. Un deuxième examen cytologique vaginal de contrôle est réalisé 5 à 10 jours après le coït afin de déterminer si la femelle est toujours en chaleurs. En l'absence de cellules kératinisées, la femelle a ovulé ou bien n'est plus en chaleurs. Tout d'abord, la femelle est considérée gestante et n'est plus manipulée jusqu'à la mise-bas. Si la femelle revient de nouveau en chaleurs, elle est mise en contact avec le même ou un autre individu mâle. Les femelles putois à pieds noirs présentent en général au maximum 2 périodes d'œstrus si elles ne sont pas fécondées lors de la première période (U.S. Fish and Wildlife Service, 2017).

□ L'insémination artificielle

L'insémination artificielle s'est largement développée au début du XXe siècle dans le cadre de l'amélioration génétique des bovins d'élevage. Les techniques ont été améliorées et détournées chez de nombreuses espèces de mammifères dont les mustélidés comme le furet, le putois des steppes et le putois à pieds noirs (U.S. Fish and Wildlife Service, 2017). Chez ce dernier, l'insémination artificielle intra-utérine par laparoscopie (cf. Figure 25) a largement été utilisée pour pallier aux incompatibilités de caractère entre les différents individus appariés (Howard, 1999), ainsi qu'aux problèmes de positionnement lors de l'accouplement (Wolf *et al.*, 2000a). Contrairement à l'insémination artificielle intravaginale qui ne permet pas d'obtenir de petits, cette technique présente un fort taux de réussite avec un taux de gestation menée à terme supérieur à 70%. Ainsi, l'insémination artificielle a permis la naissance de 140 petits jusqu'en 2015, donc 8 sont issus de semence congelée depuis 10 à 20 ans (Wisely *et al.*, 2015).

Afin de maximiser la diversité génétique de la population de putois à pieds noirs, la cryopréservation de semence a été développée chez cette espèce. Ainsi, l'insémination artificielle avec semence fraîche ou congelée a atteint un taux de réussite supérieur à 66%. Du fait de la rareté des individus, ces différentes techniques de reproduction assistée ont d'abord été développées sur le furet domestique et sur le putois des steppes avant d'être appliquées au putois à pieds noirs (Howard *et al.*, 2002). Le tableau n°4 détaille les taux de gestation pour ces trois espèces selon le type de semence utilisée. Il convient ici de retenir que les taux de gestation, indépendamment de l'espèce et du type de semence utilisée, dépassent les 66% de réussite.

Bien que les résultats de l'insémination artificielle soient positifs pour le putois à pieds noirs, cette technique demeure un élément de secours en cas d'impossibilité pour certaines femelles de se reproduire naturellement (U.S. Fish and Wildlife Service, 2017). Elle favorise ainsi l'optimisation de la conservation du patrimoine génétique disponible en permettant la reproduction de tous les individus de la population captive.

Tableau 4 : Putois à pieds noirs produits par insémination artificielle par laparoscopie avec de la semence fraîche ou congelée. Species : espèces, sperm treatment : état du sperme, fresh : frais, thawed : congelé, pregnancies : gestations, kits : petits, litter : portée, (Howard, 1999)

TABLE 61-4. Ferrets Produced by Laparoscopic Intrauterine Artificial Insemination Using Fresh or Frozen-Thawed Semen

Species	Sperm Treatment	No. of Pregnancies	No. of Kits	Mean No. Kits/Litter (\pm SEM)	Reference
European ferret (<i>Mustela putorius furo</i>)	Fresh	17/24 (70.8%)	85	5.2 \pm 0.5	46
	Thawed	7/10 (70.0%)	31	4.4 \pm 1.0	21
Siberian polecat (<i>Mustela eversmanni</i>)	Fresh	1/1 (100.0%)	6	6.0	24
	Thawed	5/6 (83.3%)	26	5.2 \pm 1.2	24
Black-footed ferret (<i>Mustela nigripes</i>)	Fresh	11/14 (78.6%)	32	2.9 \pm 0.4	24
	Thawed	2/3 (66.7%)	3	1.5 \pm 0.5	24

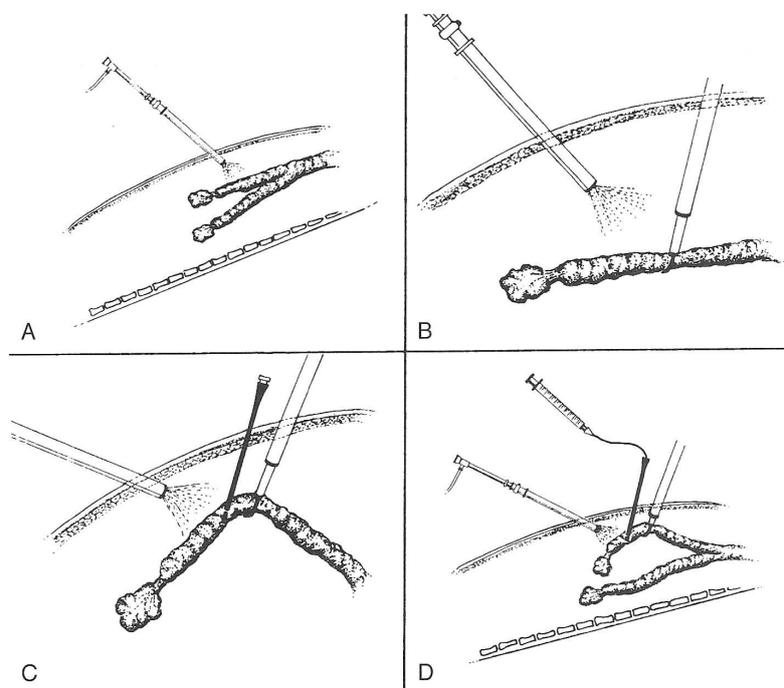


FIGURE 61-4. Laparoscopic intrauterine insemination. A, The laparoscope is used to identify the reproductive tract. B, Accessory forceps are used to grasp the uterine horn. C, The horn is elevated, and a catheter is punctured through the ventral abdominal wall and inserted into the uterine lumen. D, The stylet is withdrawn from the catheter, and tubing containing spermatozoa is guided through the catheter into the uterine lumen for sperm deposition. (From Howard JG, Barone MA, Donaghue AU, et al: The effect of pre-ovulatory anaesthesia on ovulation in laparoscopically inseminated domestic cats. J Reprod Fertil 96:175-186, 1992.)

Figure 26 : Technique d'insémination artificielle intra-utérine par laparoscopie. A, le laparoscope est utilisé pour identifier l'appareil reproducteur. B, la corne utérine est attrapée à l'aide de forceps accessoires. C, la corne est surélevée et un cathéter est passé au travers de la paroi abdominale ventrale puis inséré dans la lumière de l'utérus. D, le mandrin est retiré et un tube contenant les spermatozoïdes est inséré dans le cathéter jusque dans la lumière utérine pour le dépôt de sperme. (Howard, 1999)

□ La création d'une banque de ressources génomiques

C'est en 1986 que la banque de ressources génomiques du putois à pieds noirs a vu le jour avec la congélation des premiers prélèvements de putois à pieds noirs par les services vétérinaires chargés de la reproduction de l'espèce en captivité à cette époque. L'USFWS a ensuite encouragé le développement des techniques de reproduction assistée via son plan de restauration (U.S. Fish and Wildlife Service, 1988). Ce projet a pour objectif le stockage de prélèvements biologiques dont de la semence cryoconservée, dans le but de préserver du matériel génétique pour les générations futures de putois à pieds noirs afin de maintenir une diversité génétique acceptable et ainsi réduire le coefficient de consanguinité des individus (Santymire, 2016). Cet outil permet non seulement de conserver des prélèvements sur une longue durée, mais il facilite aussi les échanges génétiques entre populations sauvages et captives, et les populations sauvages géographiquement éloignées. En effet, toutes les institutions de reproduction en captivité participent à l'élaboration de cette banque de ressources génomiques. La durée de conservation des échantillons serait de plusieurs dizaines d'années comme le montre les études d'Howard *et al.* (2006, 2016) dans laquelle des semences congelées entre 10 et 20 ans ont été utilisées dans le cadre d'inséminations artificielles et ont permis la naissance de plusieurs portées de petits putois à pieds noirs. L'intégration de ces nouveau-nés dans la population a permis d'améliorer la diversité génétique de 0,2 % et de réduire le coefficient de consanguinité de près de 6% (Howard *et al.*, 2016). De plus, la conservation de semence d'individus présents à l'état sauvage permet par ailleurs d'enrichir le patrimoine génétique des populations élevées en captivité (U.S. Fish and Wildlife Service, 2017). La bio-banque ainsi créée se trouve à la Smithsonian Conservation Biology Institute à Front Royal, en Virginie.

La bio-banque ainsi créée est un atout majeur dans la conservation du putois à pieds noirs. Son développement permet la conservation d'un patrimoine génétique le plus varié possible malgré le faible nombre d'individus fondateurs de la population actuelle. Elle permet de prévenir des problèmes futurs que cette espèce pourrait rencontrer comme une perte de fécondité ou la survenue d'une épidémie virulente.

□ Le clonage

La technique de clonage par transfert nucléaire de cellules somatiques chez une espèce proche a été méticuleusement étudiée pour le putois à pieds noirs (Wisely *et al.*, 2015). Suite à cette étude, un projet de recherche a été mené par l'USFWS, la Viagen Pets and Equine Clinic et le San Diego Frozen Zoo et a permis de cloner un des individus fondateurs de la population de putois à pieds noirs actuelle : Willa, une femelle capturée à Meeteetse en 1981 après la découverte des derniers individus présents à l'état sauvage. Elle n'a malheureusement jamais reproduit en captivité et n'a donc pu transmettre son patrimoine génétique. Une étude menée en 2014 par Revive & Restore a permis de séquencer son génome, découvrant ainsi que Willa présentait une diversité génétique 3 fois plus importante que les individus élevés en captivité

à ce même moment. La décision a donc été prise de tenter de cloner Willa. Avec l'aide de la Viagen Pets and Equine Clinic qui a accueilli la mère porteuse, du San Diego Frozen Zoo qui a conservé les prélèvements de Willa pendant plus de 30 ans, de l'USFWS et de l'AZA pour avoir encadré l'élevage en captivité de l'espèce, le clone de Willa, Elizabeth Ann (cf. Figure 26), est né le 10 décembre 2020. Malheureusement, Elizabeth Ann a subi une ovario-hystérectomie pour raison médicale et ne sera donc pas capable de reproduire. Elle représente tout de même un espoir pour la conservation et la diversification génétique du putois à pieds noirs (« Black-footed Ferret, Species - Revive & Restore », 2023). Tout comme l'insémination artificielle, la technique de clonage a préalablement été testée sur le furet domestique (Li *et al.*, 2007). A ce jour, Elizabeth Ann est le seul clone de putois à pieds noirs rapporté par les autorités américaines. Certains ouvrages évoquent la naissance de nouveaux clones au cours des prochaines années à venir mais aucune source ne confirme réellement ces informations. On peut donc supposer que la technique présente un rendement plutôt faible et nécessite des moyens financiers importants, contrairement à d'autres techniques de reproduction assistée comme l'insémination artificielle qui a été largement développée chez cette espèce.



Figure 27 : Elizabeth Ann, le clone du putois à pieds noirs Willa (« Black-footed Ferret Project - Revive & Restore », 2023)

iii. Étude et analyse génétique du putois à pieds noirs

L'objectif principal du programme de restauration du putois à pieds noirs est le déclassement de la liste des espèces en danger d'extinction établi par l'ESA. Pour cela, la population présente à l'état sauvage actuellement doit s'agrandir, tout en conservant une diversité génétique suffisamment importante pour ne pas mettre en danger la pérennité des générations futures. Dans le cadre de la conservation de la diversité génétique de l'espèce et d'une gestion raisonnée de sa reproduction, il est important de disposer de données précises sur son

information génétique. Des études se sont appliquées à détailler le génome et l'ADN mitochondrial du putois à pieds noirs, fournissant ainsi de précieuses informations participant à enrichir nos connaissances sur cette espèce menacée (Zhao *et al.*, 2014 ; Kliver *et al.*, 2023). Malheureusement les données restent peu nombreuses pour le moment.

III. Analyse rétrospective des programmes et intérêt dans la conservation du vison d'Europe

a. Les éléments de réussite pour la conservation du putois à pieds noirs

i. L'augmentation de la population

En un peu plus de 40 ans, la population mondiale de putois à pieds noirs, comprenant les populations captive et sauvage, a été multipliée par plus de 30. Depuis les années 80, entre 9 000 et 10 000 individus seraient nés au sein du programme de restauration de l'espèce. Actuellement, environ 300 individus se trouvent à l'état sauvage, et tout autant se trouvent dans les centres de reproduction et de réintroduction (Santymire, 2016).

ii. La conservation du patrimoine génétique

La nécessité de cette forte augmentation de population représentait un enjeu concernant la conservation de la diversité génétique de l'espèce. Grâce aux moyens techniques mis en place avec l'utilisation de logiciels d'analyse et le développement des techniques de reproduction assistée, la diversité génétique a peu faibli et le coefficient de consanguinité entre les individus est resté acceptable (cf. Figure 14) (Howard *et al.*, 2016). Ces données ont même pu être améliorées par la dissémination d'une lignée d'un individu fondateur peu représenté grâce au développement de l'insémination artificielle utilisant de la semence congelée (Howard *et al.*, 2002, 2006, 2016).

iii. Une réussite scientifique

La progression réalisée dans l'acquisition et la maîtrise de nouvelles techniques de reproduction pour une espèce en danger telle que le putois à pieds noirs relève d'une prouesse scientifique. En effet les efforts déployés pour parvenir à obtenir des résultats concluants sur des espèces proches comme le furet domestique et le putois des steppes ont permis de très vite appliquer de nouvelles mesures chez cette espèce. De plus, les moyens mis en œuvre pour réinstaurer l'écosystème prairie représente un challenge scientifique notable, dont la portée résonne particulièrement depuis quelques années. En outre, le clonage de Willa ayant donné naissance à Elizabeth Ann représente une avancée majeure dans la conservation et la diversification génétique de l'espèce. Aujourd'hui, seulement une vingtaine de mammifères ont été clonés avec succès, et il ne s'agissait jusque-là pas d'espèce menacée

d'extinction à l'exception du clone du cheval de Przewalski né la même année de Elizabeth Ann mais plutôt d'animaux domestiques ou d'élevage.

iv. Une réintroduction en plein essors

L'augmentation du nombre d'individus nés en captivité a par conséquent fait augmenter le nombre de réintroductions à l'état sauvage. Plusieurs sites se sont pérennisés et de nouveaux sites de réintroduction ont été trouvés tandis que d'autres localisations sont encore à l'étude (Santymire et Graves, 2018 ; U.S. Fish and Wildlife Service, 1998 ; Wyoming Game and Fish Department et Wyoming Black-footed Ferret Working Group, 2018). Le succès de ses réintroductions est très largement dû aux différents programmes de conservation du chien de prairie qui ont été menés (Martínez-Estévez *et al.*, 2013 ; Miller et Reading, 2012 ; Roelle *et al.*, 2006 ; U.S. Fish and Wildlife Service, 2013). La préservation de l'écosystème prairie est un des axes forts pour la réintroduction pérenne du putois à pieds noirs dans son aire de répartition initiale. L'objectif de pérenniser les populations réintroduites passe en grande partie par la préservation des proies et du milieu naturel.

v. Bilan des moyens mis en œuvre

La restauration du putois à pieds noirs à l'état sauvage a sollicité de nombreuses institutions gouvernementales à l'échelle internationale. Les Etats-Unis, le Canada et le Mexique ont travaillé conjointement pour améliorer les programmes de réintroduction et obtenir des résultats positifs. Des institutions privées se sont impliquées dans le projet et ont permis de lever des fonds, de sensibiliser le grand public sur la situation critique du putois à pieds noirs, mais aussi de développer les connaissances scientifiques sur l'espèce, et de préserver des individus ainsi que de nombreux prélèvements réalisés depuis le début du programme. Des moyens conséquents ont été déployés à l'échelle locale avec la naissance des centres de reproduction, d'élevage et de réintroduction, la sensibilisation et l'implication des éleveurs et agriculteurs, mais aussi des tribus amérindiennes qui habitent une partie des plaines nord-américaines.

b. Les échecs du programme, leurs solutions et les perspectives d'amélioration entreprises

Il faut tout d'abord noter que les échecs de ce projet sont peu nombreux et ont été majoritairement compensés par la suite.

i. Réintroduction

Les premiers relâchés de putois à pieds noirs ce sont majoritairement soldés par des échecs avec un taux de mortalité important lors des deux premières semaines de vie à l'état sauvage (Poessel *et al.*, 2011). Des études ont montré que la prédation était la cause principale de mortalité à la suite de la réintroduction (Biggins *et al.*, 2011). Les individus relâchés étaient

lents à réagir voire aréactifs lors d'une confrontation avec un prédateur. Le taux de perte grandissant a poussé les organismes de réintroduction à mettre en place des épreuves de pré-conditionnement à des situations de prédation mais aussi de chasse, ainsi qu'une habitude à un environnement naturel. Cette gestion a permis d'accroître le nombre d'individus relâchés et d'augmenter leur durée de survie une fois placés en milieu naturel (Biggins *et al.*, 1999). Par ailleurs, la réintroduction du putois à pieds noirs au Canada reste inenvisageable pour le moment du fait de l'incapacité du programme de réintroduction à maintenir un environnement viable pour l'espèce. Des difficultés de restauration de l'écosystème prairie empêche l'autorisation des relâchés dans le pays, en effet les populations de chiens de prairie vivants à l'état sauvage ne pourraient soutenir l'introduction de putois à pieds noirs pour le moment. Les efforts déployés localement se concentrent donc sur l'établissement de populations pérennes de proies.

ii. Sécurité sanitaire

□ Les épidémies affaiblissant les populations de putois à pieds noirs

En 1995, une épidémie de peste sylvatique a tué de nombreux chiens de prairie ainsi que des putois à pieds noirs détenus dans les centres de conservation (AZA, 2021). Malgré les précautions prises, les institutions impliquées dans le programme n'ont pas su protéger à temps les individus détenus comme ceux présents à l'état sauvage, ni anticiper une telle situation. Par la suite, de vastes campagnes de désinsectisation ont eu lieu et un vaccin contre *Y. pestis* a été élaboré (Santymire et Graves, 2018).

□ Plusieurs cas de décès suite à l'utilisation d'un vaccin contre la maladie de Carré

La publication de Carpenter *et al.* (1976) rapporte le décès de 4 individus dans les 3 semaines ayant suivi leur vaccination à l'aide d'un vaccin vivant modifié contre la maladie de Carré. Depuis, la vaccination du putois à pieds noirs avec ce type de vaccin est formellement interdite, y compris pour le reste des espèces de Mustélidés selon les recommandations de l'AZA. L'utilisation de vaccin recombiné à un poxvirus de canari est recommandé (Reed-Smith *et al.*, 2010).

□ La transmission de maladies par l'être humain

Des cas de grippe ont été rapportés chez le putois à pieds noirs au sein du Zoo de Toronto en 1997. L'origine humaine a été confirmée par la suite et a pour vecteur un membre de l'équipe chargée du suivi des individus captifs. Fort heureusement la mortalité est restée nulle malgré une morbidité élevée. A la suite de cet incident, les équipements de protection individuelle sont devenus obligatoires pour toutes personnes entrant en contact rapproché avec des putois à pieds noirs (« TORONTO ZOO | Animals », 2023).

iii. Reproduction

□ L'inefficacité de la reproduction

Des difficultés de reproduction sont apparues chez les mâles de différents âges vers 1995. Plusieurs causes ont pu être démontrées comme un comportement trop agressif envers les femelles, qui refusaient ensuite l'accouplement, des malpositions du mâle lors de l'accouplement, des testicules insuffisamment développés (cf. Figure 27). Par ailleurs, des cas de pseudogestation ont été décrits chez les femelles, en particulier chez celles n'ayant pas été fécondées lors de leur mise à la reproduction. Ces dernières peuvent présenter un second œstrus une fois la pseudogestation finie, mais la fréquence d'apparition de ce deuxième œstrus est faible. Ce phénomène a aussi été décrit chez le furet domestique ainsi que chez le putois des steppes (Wolf *et al.*, 2000a).

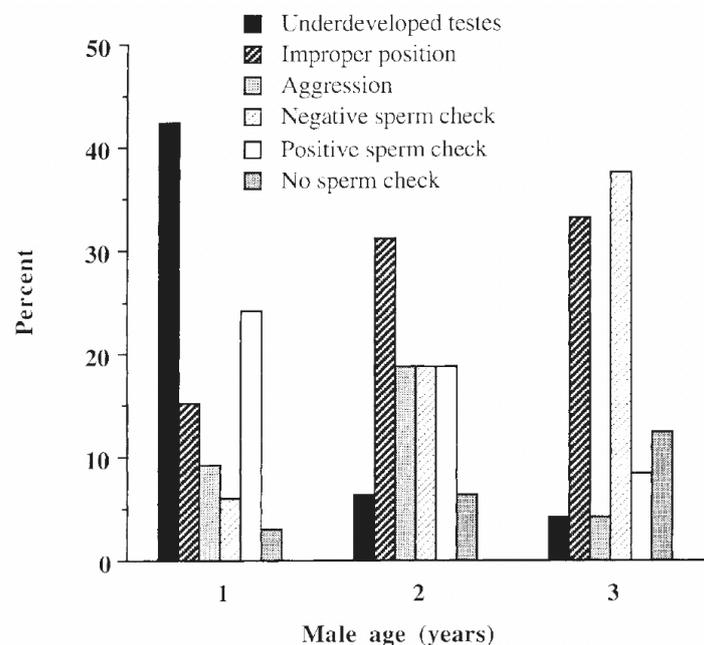


Figure 28 : Influence de l'âge sur les échecs reproductifs chez le putois à pieds noirs adulte. Noir : testicules sous-développés, noir rayé : malposition, gris clair quadrillé : agression, blanc quadrillé : absence de sperme dans le vagin, blanc : présence de sperme dans le vagin, gris foncé quadrillé : pas de contrôle de présence de sperme. (Wolf et al., 2000)

□ Les difficultés de conservation du patrimoine génétique

Le maintien de 80% de la diversité génétique de la population initiale est l'un des objectifs principaux du programme de restauration du putois à pieds noirs (U.S. Fish and Wildlife Service, 1988). Cependant, une étude a démontré la forte diminution de diversité génétique de l'espèce jusqu'en 1985 (Wisely, 2002) et en 1999 une autre étude a démontré la faible différence génétique entre les individus élevés en captivité et leurs descendants sauvages

(Wisely, 2006). Après cela, l'utilisation de logiciels permettant d'optimiser les appariements entre putois à pieds noirs a permis de réduire la perte génétique. De même, la valorisation de la lignée d'un fondateur sous-représenté grâce à l'insémination artificielle a favorisé l'amélioration de la diversité génétique et la diminution du coefficient de consanguinité entre les individus (Howard *et al.*, 2002, 2006, 2016). Le développement de la reproduction assistée a permis l'ouverture de nouvelles perspectives pour l'espèce.

c. Le putois à pieds noirs, une espèce modèle pour la conservation du vison d'Europe

i. Le putois à pieds noirs, un exemple de réussite dans le milieu de la conservation

Les éléments de réussite du programme détaillés précédemment justifient l'utilisation du putois à pieds noirs comme d'un exemple de conservation menée avec succès. Bien que particulièrement important pour les projets de conservation futurs concernant la famille des Mustélidés, il est un exemple et une source d'inspiration pour les programmes de conservation protégeant des mammifères. La restauration d'une population viable et pérenne à partir de 7 individus fondateurs tout en conservant une diversité génétique élevée et un coefficient de consanguinité bas représente une prouesse technique et scientifique. La mobilisation pour la protection de cette espèce implique la protection de son habitat naturel et ainsi la réhabilitation de l'écosystème prairie des grandes plaines nord-américaines telles qu'elles l'étaient avant la révolution industrielle.

ii. Intérêt du putois à pieds noirs comme modèle de conservation pour la réintroduction du vison d'Europe

Le putois à pieds noirs fait partie de la famille des Mustélidés et il est phylogénétiquement très proche du vison d'Europe. L'intérêt du programme de conservation concernant le putois à pieds noirs pour le vison d'Europe est important car les mesures développées pour sauver l'une de ces espèces peuvent être aisément transposées à l'autre et vice versa, en prenant en considération les différences écologiques évidentes concernant leur environnement respectif. De plus, les essais menés sur le putois à pieds noirs ont majoritairement été testés en amont sur le furet domestique et le putois des steppes (Howard *et al.*, 2016), deux espèces non menacées et phylogénétiquement proches du putois à pieds noirs. Ces étapes supplémentaires assurent donc une marge de sécurité quant à la transposition de ce qui a été fait chez le putois à pieds noirs, sur le vison d'Europe. Ce dernier a lui aussi fait face à un goulot d'étranglement de sa population, par un éloignement géographique, mais dans une moindre mesure par rapport au putois à pieds noirs (Michaux *et al.*, 2005). Le succès de la conservation du patrimoine génétique du putois à pieds noirs suite à la persistance d'une très faible population implique beaucoup d'espoir en ce qui concerne le vison d'Europe, pour qui une

population beaucoup plus importante persiste à l'état sauvage. La répartition géographique du vison d'Europe ressemble en quelques points à celle du putois à pieds noirs puisque son aire de répartition initiale se déploie elle aussi sur plusieurs pays, mais au sein d'écosystèmes similaires. De ce fait, plusieurs gouvernements sont activement impliqués dans sa conservation et sa réintroduction. De nombreux moyens ont été, et sont actuellement déployés pour permettre au vison d'Europe d'être réintroduit dans son habitat naturel, ainsi que pour permettre la pérennité de ces réintroductions via la préservation de son environnement (Amstislavsky *et al.*, 2008 ; Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) *et al.*, 2021).

iii. Limites de la transposition du modèle du putois à pieds noirs sur le vison d'Europe

L'habitat naturel abritant ces deux espèces est bien différent pour chacune d'entre elles et il peut sembler difficile d'appliquer des mesures de conservation appliquées à de grandes plaines américaines à des forêts d'Europe. De même, la proximité génétique de ces deux espèces est établie à ce jour mais elle n'en demeure pas pour autant figée et reste sujette à de potentielles évolutions. Par ailleurs, l'engouement suscité par la conservation du putois à pieds noirs aux États-Unis n'est pour l'instant pas comparable à celui provenant du vison d'Europe.

Le putois à pieds noirs fait l'objet de nombreuses protections juridiques, de l'échelle locale à l'échelle internationale. Son statut particulier d'espèce en danger d'extinction lui a permis de bénéficier d'un programme de restauration national aux États-Unis, établi en 1978. Ce programme a retranscrit les objectifs principaux de conservation de cette espèce au travers d'un plan de restauration, servant de directives de référence pour les institutions publiques et privées s'impliquant dans le projet. Ces dernières sont nombreuses et indispensables à l'établissement du projet au sein des différents états possédant des aires naturelles adaptées à la réintroduction de l'espèce. L'envergure des travaux mis en œuvre est considérable et ces derniers visent à protéger le putois à pieds noirs, mais aussi ses proies et son habitat. La liste des connaissances acquises sur cette espèce s'agrandit de manière continue et permet ainsi d'optimiser la reproduction et la gestion en captivité du putois à pieds noirs et ainsi sa réintroduction en milieu sauvage. Malgré quelques écueils, les essais menés ont porté leurs fruits et laissent place à des perspectives encourageantes pour l'espèce.

Conclusion

L'objectif de cette étude était de démontrer l'intérêt du putois à pieds noirs comme modèle pour la conservation des Mustélidés et particulièrement pour le vison d'Europe, une espèce en danger critique d'extinction. Pour ce faire, nous avons détaillé les principales caractéristiques de l'espèce et sa parenté avec les individus de la même famille, soulignant ainsi sa proximité avec le vison d'Europe. Nous avons pu voir que l'histoire de la conservation de cette espèce était riche et que cette dernière représentait un enjeu scientifique considérable au XXI^e siècle en Amérique du Nord. L'analyse de ce programme de réintroduction montre que les moyens déployés pour rétablir cette espèce qui fût déclarée comme éteinte ont été et restent importants et reflètent le fort engouement des autorités américaines pour un défi conséquent tel que la restauration du putois à pieds noirs dans son aire de répartition initiale.

Le putois à pieds noirs est un bel exemple de la façon dont la reproduction assistée intégrée dans des plans de gestion peut bénéficier à la conservation des espèces en danger d'extinction. Les résultats positifs prouvent que les techniques de reproduction développées au sein du programme participent à l'extension des connaissances et permettent la production d'une descendance viable, et génétiquement variée. Ainsi, cela montre qu'une gestion réfléchie et planifiée de la structure d'une population peut avoir un effet durable sur la conservation des ressources génétiques de l'espèce. Les connaissances acquises en quarante ans ont permis d'optimiser les efforts de réintroduction, protégeant ainsi cette espèce en danger, mais aussi l'écosystème « prairie » auquel elle appartient. De nombreuses espèces commensales profitent de la protection accordée au putois à pieds noirs, il s'agit donc d'une espèce dite « parapluie », c'est-à-dire une espèce dont les projets de conservation touchent un grand nombre d'autres espèces, animales comme végétales.

Tout comme pour le putois à pieds noirs, les lignes directrices du programme peuvent être aisément transposées au vison d'Europe, ainsi que les techniques de reproduction assistée et de gestion en captivité développées pour cette espèce. La proximité phylogénétique du putois à pieds noirs avec le vison d'Europe en fait un très bon exemple de conservation, tout en gardant à l'esprit que les deux espèces présentent des différences évidentes comme un habitat naturel très différent par exemple.

Les perspectives d'évolution du statut du vison d'Europe et de sa réintroduction sont positives, en effet les institutions gouvernementales s'impliquent maintenant depuis plusieurs années à la restauration de l'espèce dans son aire de répartition initiale et la validation du

projet de développement de l'insémination artificielle de cette espèce en France par le ministère de l'Écologie conforte cette idée. L'encadrement des programmes de conservation du vison d'Europe par l'Union Européenne est très encourageant pour la réalisation des projets actuels et futurs.

Liste des références bibliographiques

ABBOTT, R.C., OSORIO, J.E., BUNCK, C.M., *et al.* (2012) Sylvatic plague vaccine: a new tool for conservation of threatened and endangered species? *EcoHealth* vol. 9, n° 3, p. 243-250. [<https://doi.org/10.1007/s10393-012-0783-5>]

AMSTISLAVSKY, S., LINDEBERG, H., AALTO, J., *et al.* (2008) Conservation of the European Mink (*Mustela lutreola*): Focus on Reproduction and Reproductive Technologies. *Reproduction in Domestic Animals* vol. 43, n° 4, p. 502-513. [<https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.00950.x>]

ANDERSON, E., FORREST, S.C., CLARK, T.W., *et al.* (1986) Paleobiology, biogeography, and systematics of the black-footed ferret, *Mustela nigripes* (Audubon and Bachman), 1851. *Great Basin Naturalist Memoirs* vol. 8, p. 11-62.

ARIZONA GAME AND FISH DEPARTMENT (2023) Black-footed Ferret Reintroduction and Recovery | Arizona Wildlife Conservation Strategy. [<https://awcs.azgfd.com/conservation-highlights/black-footed-ferret-reintroduction-and-recovery>] (consulté le 15/11/2023).

ASSEMBLEE NATIONALE (1977) Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction. *Environmental Policy and Law* vol. 4, n° 1, p. 51-52. [[https://doi.org/10.1016/S0378-777X\(78\)80178-4](https://doi.org/10.1016/S0378-777X(78)80178-4)]

AZA (2021) Black-Footed Ferret Disease Workshops. *In Dropbox*. [<https://www.dropbox.com/sh/3kkyp72uokpe3q9/AACnIK319QoQinPQ0V4inD4Ia?dl=0>] (consulté le 30/11/2023).

BALLOU, J., LEES, C., FAUST, L., LONG, S., LYNCH, C., BINGAMAN LACKEY, L., FOOSE, T.J. (2010) Demographic and genetic management of captive populations. *In Wild Mammals in Captivity: Principles and Techniques for Zoo Management*, 2nd Edition. Chicago, Chicago University Press, p. 219-252.

BASKIN, J.A., TEDFORD, R.H. (1996) The Terrestrial Eocene-Oligocene Transition in North America. Cambridge University Press.

BELANT, J., BIGGINS, D., GRIEBEL, R., *et al.* (2015) IUCN Red List of Threatened Species: *Mustela nigripes*. *In IUCN Red List of Threatened Species*. [<https://www.iucnredlist.org/en>] (consulté le 07/11/2023).

BELL, C., BARNOSKY, A. (2000) The Microtine Rodents from the Pit locality in Porcupine Cave, Park County, Colorado. *Annals of Carnegie Museum* vol. 69, n° 2, p. 93-134. [<https://doi.org/10.5962/p.330537>]

BELSER, J.A., BARCLAY, W., BARR, I., *et al.* (2018) Ferrets as Models for Influenza Virus Transmission Studies and Pandemic Risk Assessments. *Emerging Infectious Diseases* vol. 24, n° 6, p. 965-971. [<https://doi.org/10.3201/eid2406.172114>]

BIGGINS, D., GODBEY, J., MATCHETT, R., *et al.* (2004) Habitat Preferences and Intraspecific Competition in Black-footed Ferrets. Présenté à Recovery of the Black-footed Ferret: Progress and Continuing Challenges, Fort Collins, Colorado, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.

BIGGINS, D., MILLER, B., HANEbury, L., *et al.* (2011) Mortality of Siberian polecats and black-footed ferrets released onto prairie dog colonies. *Journal of Mammalogy* vol. 92, n° 4, p. 721-731. [<https://doi.org/10.2307/23259872>]

BIGGINS, D.E., GODBEY, J.L., HANEbury, L.R., *et al.* (1998) The effect of rearing methods on survival of reintroduced black-footed ferrets. *Journal of Wildlife Management* vol. 62, n° 2, p. 643-653.

BIGGINS, D.E., HANEbury, L.R., FAGERSTONE, K.A. (2012) Digging behaviors of radio-tagged black-footed ferrets near Meeteetse, Wyoming, 1981-1984. *Western North American Naturalist* vol. 72, n° 2, p. 148-157.

BIGGINS, D.E., KOSOY, M.Y. (2001) Influences of Introduced Plague on North American Mammals: Implications from Ecology of Plague in Asia. *Journal of Mammalogy* vol. 82, n° 4, p. 906-916.

BIGGINS, D.E., MILLER, B.J., CLARK, T.W., *et al.* (1997) Management of an endangered species: the black-footed ferret. In Meffe G.K., Carroll C.R., *Principles of Conservation Biology*, 2nd Edition. Sunderland, Sinauer Associates, Inc., p. 420-424.

BIGGINS, D.E., VARGAS, A., GODBEY, J.L., *et al.* (1999) Influence of prerelease experience on reintroduced black-footed ferrets (*Mustela nigripes*). *Biological Conservation* vol. 89, n° 2, p. 121-129. [[https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(98\)00158-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(98)00158-X)]

BLACK-FOOTED FERRET FRIENDS (2005) Black-footed Ferret Recovery Program - Timeline. [<https://archive.wikiwix.com/cache/index2.php?url=http%3A%2F%2Fwww.blackfootedferret.org%2Ftimeline.html>] (consulté le 26/10/2023).

BLACKFOOTEDFERRET.ORG (2023a) Captive Breeding - blackfootedferret.org. [https://www.blackfootedferret.org/captive-breeding.html] (consulté le 06/10/2023).

BLACKFOOTEDFERRET.ORG (2023b) Species Profile - blackfootedferret.org. In *BLACKFOOTEDFERRET.ORG*. [https://www.blackfootedferret.org/species-profile.html] (consulté le 08/10/2023).

BLACKFOOTEDFERRET.ORG (2023c) Conservation History. In *BLACKFOOTEDFERRET.ORG*. [https://www.blackfootedferret.org/conservation-history.html] (consulté le 30/10/2023).

BRICKNER, K.M., GRENIER, M.B., CROSIER, A.E., *et al.* (2014) Foraging plasticity in a highly specialized carnivore, the endangered black-footed ferret. *Biological Conservation* vol. 169, p. 1-5. [https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.10.010]

BRONSON, E., BUSH, M., VINER, T., *et al.* (2007) Mortality of black-footed ferrets (*Mustela nigripes*) at Smithsonian's National Zoological Park, 1989–2004. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* vol. 38, n° 2, p. 169-176. [https://doi.org/10.1638/1042-7260(2007)038[0169:MOCBFM]2.0.CO;2]

BURNS, R., WILLIAMS, E.S., O'TOOLE, D., *et al.* (2003) *Toxoplasma gondii* infections in captive black-footed ferret (*Mustela nigripes*), 1992–1998: clinical signs, serology, pathology, and prevention. *Journal of Wildlife Diseases* vol. 39, n° 4, p. 787-797. [https://doi.org/10.7589/0090-3558-39.4.787]

CABRIA, M.T., GONZALEZ, E.G., GOMEZ-MOLINER, B.J., *et al.* (2015) Patterns of genetic variation in the endangered European mink (*Mustela lutreola* L., 1761). *BMC Evolutionary Biology* vol. 15, n° 1, p. 141. [https://doi.org/10.1186/s12862-015-0427-9]

CARPENTER, J.W., APPEL, M.J., ERICKSON, R.C., *et al.* (1976) Fatal vaccine-induced canine distemper virus infection in black-footed ferrets. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 169, n° 9, p. 961-964.

CEBALLOS, G., DAVIDSON, A., LIST, R., *et al.* (2010) Rapid Decline of a Grassland System and Its Ecological and Conservation Implications. *PLOS ONE* vol. 5, n° 1, p. e8562. [https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008562]

CEREMA (2017) Vison d'Europe : une enquête pour lutter contre la mortalité routière de l'espèce | Cerema. [http://www.cerema.fr/fr/actualites/vison-europe-enquete-lutter-contre-mortalite-routiere-espece] (consulté le 06/11/2023).

CHAMOIS, A. (2020) A Black-Footed Ferret Haven: South Dakota's Conata Basin | Defenders

of Wildlife. [<https://defenders.org/blog/2020/04/black-footed-ferret-haven-south-dakotas-conata-basin>] (consulté le 14/11/2023).

CHIPAULT, J.G., BIGGINS, D.E., DETLING, J.K., *et al.* (2012) Fine-Scale Habitat Use of Reintroduced Black-Footed Ferrets on Prairie Dog Colonies in New Mexico. *Western North American Naturalist* vol. 72, n° 2, p. 216-227. [<https://doi.org/10.3398/064.072.0211>]

CHOATE, J.R., BOGGESS, E.K., HENDERSON, F.R. (1982) History and Status of the Black-Footed Ferret in Kansas. *Transactions of the Kansas Academy of Science* vol. 85, n° 3, p. 121. [<https://doi.org/10.2307/3628330>]

CLARK, T.W. (1987) Restoring Balance Between the Endangered Black-Footed Ferret (*Mustela nigripes*) and Human Use of the Great Plains and Intermountain West. *Journal of Washington Academy of Science* vol. 77, n° 4, p. 168-173.

COHEN, K.M., FINNEY, S.C., GIBBARD, P.L., *et al.* (2013) The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes* vol. 36, n° 3, p. 199-204. [<https://doi.org/10.18814/epiiugs/2013/v36i3/002>]

COLORADO PARKS & WILDLIFE (2019) Black-footed Ferret Management Plan for Eastern Colorado. 1313 Sherman St., Denver, CO 80203. [https://cpw.state.co.us/Documents/WildlifeSpecies/Mammals/Final%20_BFF_Management_Plan.pdf]

CONSEIL DE L'EUROPE Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe (1979) Annexe II - Espèces de faune strictement protégées. Traité européen, Série des traités européens. Berne, Conseil de l'Europe. [<https://rm.coe.int/1680078b0e>]

CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE (1992) Directive 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages. [<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:31992L0043>] (consulté le 17/09/2023).

CONVENTION SUR LE COMMERCE INTERNATIONAL DES ESPÈCES DE FAUNE ET DE FLORE SAUVAGES MENACÉES D'EXTINCTION (CITES) (2023) Liste des Parties. [https://cites.org/fra/disc/parties/chronolo_old.php] (consulté le 11/11/2023).

COSEPAC (2021) Examen rapide de la classification du COSEPAC pour le putois d'Amérique (*Mustela nigripes*) au Canada. Ottawa, Canada, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2023/eccc/CW69-18-5-2022-

fra.pdf

CROW TRIBE LEGISLATURE (2015) A resolution approving the safe harbour agreement between the Crow Tribe and the US Fish and Wildlife Service in furtherance of tribe's efforts to reintroduce the black-footed ferret inside the exterior boundaries of the Crow nation. <https://www.ctlb.org/wp-content/uploads/2015/09/JAR15-15-Safe-Harbor-Agmt-Tribe-US-FishWildlife-reintroduce-Black-Footed-Ferret.pdf>

CULLY, J.F., BARNES, A.M., QUAN, T.J., *et al.* (1997) Dynamics of plague in a Gunnison's prairie dog colony complex from New Mexico. *Journal of Wildlife Diseases* vol. 33, n° 4, p. 706-719. [<https://doi.org/10.7589/0090-3558-33.4.706>]

CULLY, J.F., JOHNSON, T.L., COLLINGE, S.K., *et al.* (2010) Disease Limits Populations: Plague and Black-Tailed Prairie Dogs. *Vector Borne and Zoonotic Diseases* vol. 10, n° 1, p. 7-15. [<https://doi.org/10.1089/vbz.2009.0045>]

CULLY, J.F., WILLIAMS, E.S. (2001) Interspecific comparisons of sylvatic plague in prairie dogs. *Journal of Mammalogy* vol. 82, n° 4, p. 894-905. [[https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2001\)082<0894:ICOSPI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2001)082<0894:ICOSPI>2.0.CO;2)]

DEEM, S.L., SPELMAN, L.H., YATES, R.A., *et al.* (2000) Canine distemper in terrestrial carnivores: a review. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* vol. 31, n° 4, p. 441-451. [[https://doi.org/10.1638/1042-7260\(2000\)031\[0441:CDITCA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1638/1042-7260(2000)031[0441:CDITCA]2.0.CO;2)]

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'AMÉNAGEMENT ET DU LOGEMENT (DREAL), GROUPE DE RECHERCHE ET D'INVESTIGATION SUR LA FAUNE SAUVAGE (GRIFS), CISTUDE NATURE, *et al.* (2021) Plan National d'Actions en faveur du Vison d'Europe (*Mustela lutreola*) 2021-2031. 174p.

DUFOUR, B. (2020) Zoonoses de loisirs. École Nationale Vétérinaire d'Alfort, Département des Productions Animales et de Santé Publique

EADS, D., LIVIERI, T., TRETEN, T., *et al.* (2022) Assembling a safe and effective toolbox for integrated flea control and plague mitigation: Fipronil experiments with prairie dogs. *PLOS ONE* vol. 17, n° 8, p. e0272419. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272419>]

EADS, D.A., BIGGINS, D.E., LIVIERI, T.M., *et al.* (2014) Space use, Resource Selection and Territoriality of Black-Footed Ferrets: Implications for Reserve Design. *Wildlife Biology* vol. 20, n° 1, p. 27-36. [<https://doi.org/10.2981/wlb.13070>]

EADS, D.A., BIGGINS, D.E., LONG, D.H., *et al.* (2016) Droughts may increase susceptibility of

prairie dogs to fleas: incongruity with hypothesized mechanisms of plague cycles in rodents. *Journal of Mammalogy* vol. 97, n° 4, p. 1044-1053. [https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw035]

EADS, D.A., BIGGINS, D.E., MARSH, D., *et al.* (2012) Black-Footed Ferret Digging Activity in Summer. *Western North American Naturalist* vol. 72, n° 2, p. 140-147.

EADS, D.A., HOOGLAND, J.L. (2016) Factors that affect parasitism of black-tailed prairie dogs by fleas. *Ecosphere* vol. 7, n° 7, p. e01372. [https://doi.org/10.1002/ecs2.1372]

EMILY, P., EISNER, E.R. (Éd.) (2020) Zoo and wild animal dentistry, Wiley-Blackwell. Wiley.

ESCH, K.L., BEAUVAIS, D.G.P., KEINATH, D.A. (2005) Species conservation assessment for black-footed ferret (*Mustela nigripes*) in Wyoming. Cheyenne, Wyoming, United States Department of the Interior Bureau of Land Management, Wyoming State Office. https://www.uwyo.edu/wyndd/_files/docs/reports/speciesassessments/black-footedferret-may2005.pdf

FENG, Y., LAL, A.A., LI, N., *et al.* (2011) Subtypes of *Cryptosporidium* spp. in mice and other small mammals. *Experimental Parasitology* vol. 127, n° 1, p. 238-242. [https://doi.org/10.1016/j.exppara.2010.08.002]

FLATH, D.L., CLARK, T.W. (1986) Historic Status of Black-Footed Ferret Habitat in Montana. *Great Basin Naturalist Memoirs* n° 8, p. 63-71.

FORREST, S.C., BIGGINS, D.E., RICHARDSON, L., *et al.* (1988) Population Attributes for the Black-Footed Ferret (*Mustela nigripes*) at Meeteetse, Wyoming, 1981-1985. *Journal of Mammalogy* vol. 69, n° 2, p. 261-273. [https://doi.org/10.2307/1381377]

FRANKE, M. (2010) Black-footed Ferret. *In The Canadian Encyclopedia*. [https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/black-footed-ferret] (consulté le 18/09/2023).

FRANKHAM, R. (1995) Effective population size/adult population size ratios in wildlife: a review. *Genetical Research* vol. 66, n° 2, p. 95-107. [https://doi.org/10.1017/S0016672300034455]

FRANKHAM, R., BALLOU, J.D., BRISCOE, D.A. (2007) Introduction to conservation genetics, 7th Edition. Cambridge, Cambridge Univ. Press.

FRIEND, M. (2006) Tularemia. n° 1297, Circular. U.S. Geological Survey. [https://doi.org/10.3133/cir1297]

GODBEY, J.L., BIGGINS, D.E., GARELLE, D. (2006) Exposure of Captive Black-footed Ferrets to Plague and Implications for Species Recovery. Présenté à Recovery of the Black-footed Ferret: Progress and Continuing Challenges Proceedings of the Symposium on the Status of the Black-footed Ferret and Its Habitat, Fort Collins, Colorado, January 28-29, 2004, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, p. 233-237.

GROENENDIJK, J., HAJEK, F., JOHNSON, P.J., *et al.* (2014) Demography of the Giant Otter (*Pteronura brasiliensis*) in Manu National Park, South-Eastern Peru: Implications for Conservation. *PLOS ONE* vol. 9, n° 8, p. e106202. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106202>]

HANEBURY, L.R., BIGGINS, D.E. (2004) History of Searches for Black-footed Ferrets. In Roelle, J.E., Miller, B.J., Godbey, J.L., et al. (Éd.), *Scientific Investigations Report*. Présenté à Recovery of the Black-footed Ferret : Progress and Continuing Challenges, Fort Collins, Colorado, p. 47-65.

HARRIS, N.C., LIVIERI, T.M., DUNN, R.R. (2014) Ectoparasites in black-footed ferrets (*Mustela nigripes*) from the largest reintroduced population of the Conata Basin, South Dakota, USA. *Journal of Wildlife Diseases* vol. 50, n° 2, p. 340-343. [<https://doi.org/10.7589/2013-03-048>]

HENDERSON, F.R. (1969) The black footed ferret in South Dakota, 2nd Edition. South Dakota, Department of Game, Fish and Parks.

HILLMAN, C.N. (1968) Life History and Ecology of the Black-Footed Ferret in the Wild. Brookings, South Dakota, South Dakota State University.

HILLMAN, C.N., CLARK, T.W. (1980) *Mustela nigripes*. *Mammalian Species* n° 126, p. 1. [<https://doi.org/10.2307/3503892>]

HOLMES, B.E., UNITED STATES. (2008) A review of black-footed ferret reintroduction in northwest Colorado, 2001-2006. Meeker, Colo. ; U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, White River Field Office ; [<https://doi.org/10.5962/bhl.title.152955>]

HOWARD, J. (1999) Assisted Reproductive Techniques in Nondomestic Carnivores. In Fowler M.E., Miller R.E., *Zoo & Wild Animal Medicine: Current Therapy, Volume 4*, 4th Edition. Philadelphia, W.B. Saunders, p. 449-457.

HOWARD, J., MARINARI, P., WILDT, D. (2002) Black-footed ferret: model for assisted reproductive technologies contributing to in situ conservation. In Holt, W.V., Pickard, A.R., Rodger, J.C., et al. (Éd.), *Reproductive Science and Integrated Conservation*. Cambridge University Press, p. 249-266. [<https://doi.org/10.1017/CBO9780511615016.020>]

HOWARD, J., SANTYMIRE, R.M., MARINARI, P.E., *et al.* (2006) Use of Reproductive Technology for Black-footed Ferret Recovery. In Roelle, J.E., Miller, B.J., Godbey, J.L., *et al.* (Éd.), *Scientific Investigations Report*. Présenté à Recovery of the Black-footed Ferret: Progress and Continuing Challenges, Fort Collins, Colorado, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, p. 28-36.

HOWARD, J.G., LYNCH, C., SANTYMIRE, R.M., *et al.* (2016) Recovery of gene diversity using long-term cryopreserved spermatozoa and artificial insemination in the endangered black-footed ferret. *Animal Conservation* vol. 19, n° 2, p. 102-111. [<https://doi.org/10.1111/acv.12229>]

HUTCHINS, M., WIESE, R.J., BOWDOIN, J. (1996) Black-Footed Ferret Recovery Program Analysis and Action Plan. Bethesda, Maryland, American Zoo and Aquarium Association.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (2022) The IUCN Red List of Threatened Species 2022. In *IUCN RED LIST*. [<https://www.iucnredlist.org>] (consulté le 11/05/2023).

IRMNG - *Mustela* Linnaeus, 1758 (2011) . In *Interim Register of Marine and Nonmarine Genera*. [<https://www.irmng.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1373316>] (consulté le 18/09/2023).

ITIS - Report: *Mustela nigripes* (2023) . In *Integrated Taxonomic Information System*. [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=180557#null] (consulté le 17/09/2023).

ITIS - Report: Mustelinae (2018) . In *Integrated Taxonomic Information System*. [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&anchorLocation=SubordinateTaxa&credibilitySort=Subordinate%20Taxa&rankName=Subspecies&search_value=552334&print_version=SCR&source=from_print#SubordinateTaxa] (consulté le 18/09/2023).

JACHOWSKI, D., MILLSPAUGH, J., BIGGINS, D., *et al.* (2011) Resource Selection by Black-Footed Ferrets in South Dakota and Montana. *Natural Areas Journal* vol. 31, p. 218-225. [<https://doi.org/10.3375/043.031.0304>]

JACHOWSKI, D.S., MILLSPAUGH, J.J., BIGGINS, D.E., *et al.* (2010) Home-range size and spatial organization of black-footed ferrets *Mustela nigripes* in South Dakota, USA. *Wildlife Biology* vol. 16, n° 1, p. 66-76. [<https://doi.org/10.2981/09-034>]

JOHNSON, D.R. (1969) Returns of the American Fur Company, 1835-1839. *Journal of Mammalogy* vol. 50, n° 4, p. 836-839. [<https://doi.org/10.2307/1378277>]

JOLLEY, W.R., KINGSTON, N., WILLIAMS, E.S., *et al.* (2011) Coccidia, Giardia sp., and a Physalopteran Nematode Parasite from Black-footed Ferrets (*Mustela nigripes*) in Wyoming. *Journal of the Helminthological Society of Washington* vol. 61, n° 1, p. 89-94.

KEINATH, D. (2005) Species Assessment for White-Tailed Prairie Dog (*Cynomys leucurus*) in Wyoming. Cheyenne, Wyoming, United States Department of the Interior Bureau of Land Management, Wyoming State Office.

KILBOURNE, B.M. (2017) Selective regimes and functional anatomy in the mustelid forelimb: Diversification toward specializations for climbing, digging, and swimming. *Ecology and Evolution* vol. 7, n° 21, p. 8852-8863. [<https://doi.org/10.1002/ece3.3407>]

KILBOURNE, B.M., HUTCHINSON, J.R. (2019) Morphological diversification of biomechanical traits: mustelid locomotor specializations and the macroevolution of long bone cross-sectional morphology. *BMC Evolutionary Biology* vol. 19, n° 37, p. 16. [<https://doi.org/10.1186/s12862-019-1349-8>]

KLIVER, S., HOUCK, M.L., PERELMAN, P.L., *et al.* (2023) Chromosome-length genome assembly and karyotype of the endangered black-footed ferret (*Mustela nigripes*). *The Journal of Heredity* vol. 114, n° 5, p. 539-548. [<https://doi.org/10.1093/jhered/esad035>]

KNOWLES, C. (2002) Status of White-Tailed and Gunnison's Prairie Dogs. Washington DC, National Wildlife Federation, Missoula, MT and Environmental Defense.

KOEPFLI, K.-P., DEERE, K.A., SLATER, G.J., *et al.* (2008) Multigene phylogeny of the Mustelidae: Resolving relationships, tempo and biogeographic history of a mammalian adaptive radiation. *BMC Biology* vol. 6, n° 1, p. 10. [<https://doi.org/10.1186/1741-7007-6-10>]

KUROSE, N., ABRAMOV, A., MASUDA, R. (2008) Molecular phylogeny and taxonomy of the genus *Mustela* (Mustelidae, Carnivora), inferred from mitochondrial DNA sequences: New perspectives on phylogenetic status of the back-striped weasel and American mink. *Mammal Study* vol. 33, n° 1, p. 25-33. [[https://doi.org/10.3106/1348-6160\(2008\)33\[25:MPATOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3106/1348-6160(2008)33[25:MPATOT]2.0.CO;2)]

LAW, C.J., SLATER, G.J., MEHTA, R.S. (2018) Lineage Diversity and Size Disparity in Musteloidea: Testing Patterns of Adaptive Radiation Using Molecular and Fossil-Based Methods. *Systematic Biology* vol. 67, n° 1, p. 127-144. [<https://doi.org/10.1093/sysbio/syx047>]

LE PODER, S. (2019) Famille des Paramyxoviridae - Exemple de la maladie de Carré. École Nationale Vétérinaire d'Alfort, Département d'élevage et de pathologie des équidés et

carnivores

LI, Z., SUN, X., CHEN, J., *et al.* (2007) Cloned ferrets produced by somatic cell nuclear transfer. *Developmental Biology* vol. 293, n° 2, p. 439-448.

LIVIERI, T. (2007) Black-footed ferret spatial use of prairie dog colonies in South Dakota. Stevens Point, University of Wisconsin.

LIVIERI, T., SANTYMIRE, R., MARINARI, P., *et al.* (2021) Black-Footed Ferret Biomedical Survey 2002-2020 - BFF AZA Review: Disease Workshop. <https://www.dropbox.com/sh/3kkyp72uokpe3q9/AACnIK319QoQinPQ0V4inD4Ia?dl=0>

LOCKHART, J.M., THORNE, E.T., GOBER, P. (2006) A Historical Perspective on Recovery of the Black-footed Ferret and the Biological and Political Challenges Affecting Its Future. In Roelle, J.E., Miller, B.J., Godbey, J.L., *et al.* (Éd.), *Scientific Investigations Report*. Présenté à Recovery of the Black-footed Ferret : Progress and Continuing Challenges, Fort Collins, Colorado, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, p. 6-19.

LODÉ, T. (1999) Genetic bottleneck in the threatened western population of European mink *Mustela lutreola*. *Italian Journal of Zoology* vol. 66, n° 4, p. 351- 353.

LODÉ, T. (1995) Convergence morphologique du putois (*Mustela putorius*) et du vison américain (*M. vison*) avec le vison d'Europe *M. lutreola*). *Gibier Faune sauvage* vol. 12, p. 147-158.

LODÉ, T., CORMIER, J.-P., JACQUES, D. (2002) Decline in Endangered Species as an Indication of Anthropic Pressures: The Case of European Mink *Mustela lutreola* Western Population. *Environmental Management* vol. 28, n° 6, p. 727-735. [<https://doi.org/10.1007/s002670010257>]

LOOTS, A.K., MITCHELL, E., DALTON, D.L., *et al.* (2017) Advances in canine distemper virus pathogenesis research: a wildlife perspective. *Journal of General Virology* vol. 98, n° 3, p. 311-321. [<https://doi.org/10.1099/jgv.0.000666>]

LÓPEZ-MARTÍN, J., RUIZ-OLMO, J., PALAZÓN, S. (1994) Organochlorine residue levels in the European mink (*Mustela lutreola*) in Northern Spain. *Ambios* vol. 23, p. 294-295.

MACK, E., KEINATH, D., LINDSTROM, J., *et al.* (2017) Species Status Assessment Report for the White-tailed Prairie Dog (*Cynomys leucurus*). U.S. Fish and Wildlife Service. <https://ecos.fws.gov/ServCat/DownloadFile/130733>

MARAN, T. (2007) Conservation Biology of the European Mink, *Mustela Lutreola* (Linnaeus

1761): Decline and Causes of Extinction. Tallinn, Estonia, Tallinn University.

MARAN, T., HENTTONEN, H. (1995) Why is the European mink (*Mustela lutreola*) disappearing? — A review of the process and hypotheses. *Annales Zoologici Fennici* vol. 32, n° 1, p. 47-54.

MARAN, T., KRUIK, H., MACDONALD, D.W., *et al.* (1998) Diet of two species of mink in Estonia: displacement of *Mustela lutreola* by *M. vison*. *Journal of Zoology* vol. 245, n° 2, p. 218-222. [<https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1998.tb00093.x>]

MARAN, T., SKUMATOV, D., GOMEZ, A., *et al.* (2016) *Mustela lutreola* (European mink). In *IUCN RED LIST*. [<https://www.iucnredlist.org/species/14018/45199861>] (consulté le 11/05/2023).

MARAN, T., SKUMATOV, D., KRANZ, A., *et al.* (2015) IUCN Red List of Threatened Species: *Mustela eversmanii*. *IUCN Red List of Threatened Species*. [<https://www.iucnredlist.org/species/29679/45203762>]

MARTÍNEZ-ESTÉVEZ, L., BALVANERA, P., PACHECO, J., *et al.* (2013) Prairie Dog Decline Reduces the Supply of Ecosystem Services and Leads to Desertification of Semiarid Grasslands. *PLOS ONE* vol. 8, n° 10, p. e75229. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075229>]

MATCHETT, M.R., BIGGINS, D.E., CARLSON, V., *et al.* (2010) Enzootic plague reduces black-footed ferret (*Mustela nigripes*) survival in Montana. *Vector Borne and Zoonotic Diseases* vol. 10, n° 1, p. 27-35. [<https://doi.org/10.1089/vbz.2009.0053>]

MATCHETT, M.R., BRECK, S.W., CALLON, J. (2013) Efficacy of electronet fencing for excluding coyotes: A case study for enhancing production of black-footed ferrets: Black-Footed Ferret Protection With Electric Fence. *Wildlife Society Bulletin* vol. 37, n° 4, p. 893-900. [<https://doi.org/10.1002/wsb.348>]

MATCHETT, M.R., STANLEY, T.R., MCCOLLISTER, M.F., *et al.* (2021) Oral Sylvatic Plague Vaccine Does Not Adequately Protect Prairie Dogs (*Cynomys* spp.) for Endangered Black-Footed Ferret (*Mustela nigripes*) Conservation. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* vol. 21, n° 12, p. 921-940. [<https://doi.org/10.1089/vbz.2021.0049>]

MCCLURE, N. (2017) The Black-Footed Ferret: Here, Gone, and Back Again. *Buffalo Bill Center of the West*. [<https://centerofthewest.org/2017/12/01/points-west-black-footed-ferret/>] (consulté le 07/11/2023).

MCDONALD, P.M., PLUMB, G.E. (1996) Black-Footed Ferret Reintroduction in the Conata

Basin/Badlands of Southwestern South Dakota. *Rangelands* vol. 18, n° 6, p. 222-224.

MEAGHER, R.K., AHLOY DALLAIRE, J., CAMPBELL, D.L.M., *et al.* (2014) Benefits of a Ball and Chain: Simple Environmental Enrichments Improve Welfare and Reproductive Success in Farmed American Mink (*Neovison vison*). *PLOS ONE* vol. 9, n° 11, p. e110589. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110589>]

MICHAUX, J.R., HARDY, O.J., JUSTY, F., *et al.* (2005) Conservation genetics and population history of the threatened European mink *Mustela lutreola*, with an emphasis on the west European population. *Molecular Ecology* vol. 14, n° 8, p. 2373-2388. [<https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02597.x>]

MILLER, B., BIGGINS, D., WEMMER, C., *et al.* (1990a) Development of survival skills in captive-raised Siberian polecats (*Mustela eversmanni*) I: Locating prey. *Journal of Ethology* vol. 8, n° 2, p. 89-94. [<https://doi.org/10.1007/BF02350279>]

MILLER, B., BIGGINS, D., WEMMER, C., *et al.* (1990b) Development of survival skills in captive-raised Siberian polecats (*Mustela eversmanni*) II: Predator avoidance. *Journal of Ethology* vol. 8, n° 2, p. 95-104. [<https://doi.org/10.1007/BF02350280>]

MILLER, B., READING, R.P. (2012) Challenges to Black-Footed Ferret Recovery: Protecting Prairie Dogs. *Western North American Naturalist* vol. 72, n° 2, p. 228-240. [<https://doi.org/10.3398/064.072.0212>]

MILLER, R.E., FOWLER, M.E. (Éd.) (2015) *Fowler's zoo and wild animal medicine*, 8th Edition. St. Louis, Elsevier/Saunders.

MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE (2023) *Mustela nivalis* Linnaeus, 1766 - Belette d'Europe, Belette. In *Inventaire National du Patrimoine Naturel*. [https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/60716] (consulté le 18/09/2023).

MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE (2007) Liste des mammifères terrestres protégés sur l'ensemble du territoire français et les modalités de leur protection. In *Inventaire National du Patrimoine Naturel*. [<https://inpn.mnhn.fr/reglementation/protection/listeEspecesParArrete/633>] (consulté le 17/12/2023).

MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE (1999) Liste des espèces de vertébrés protégées menacées d'extinction en France et dont l'aire de répartition excède le territoire d'un département. In *Inventaire National du Patrimoine Naturel*. [<https://inpn.mnhn.fr/reglementation/protection/listeEspecesParArrete/704>] (consulté le

17/12/2023).

NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (2023) Environmental Quality Incentives Program | Natural Resources Conservation Service. *In Natural Resources Conservation Service U.S. Department of Agriculture*. [<https://www.nrcs.usda.gov/programs-initiatives/eqip-environmental-quality-incentives>] (consulté le 22/11/2023).

NATURESERVE (2023) *Mustela nigripes* | NatureServe Explorer. *In NatureServe Explorer*. [https://explorer.natureserve.org/Taxon/ELEMENT_GLOBAL.2.102031/Mustela_nigripes] (consulté le 12/11/2023).

O'BRIEN, S.J., EVERMANN, J.F. (1988) Interactive influence of infectious disease and genetic diversity in natural populations. *Trends in Ecology & Evolution* vol. 3, n° 10, p. 254-259. [[https://doi.org/10.1016/0169-5347\(88\)90058-4](https://doi.org/10.1016/0169-5347(88)90058-4)]

Océanopolis - BREST'AIM (2023) La loutre de mer - Oceanopolis. *In Océanopolis*. [<https://www.oceanopolis.com/nos-animaux/la-loutre-de-mer/>] (consulté le 18/09/2023).

OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ (OFB) (2023) Changements d'usage des terres et mutations agricoles. *In Le portail technique de l'OFB*. [<https://professionnels.ofb.fr/fr/node/403>] (consulté le 19/10/2023).

OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ (OFB) (2022) Vison d'Europe (*Mustela lutreola*). *In Le portail technique de l'OFB*. [<https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-fiches-especes/vison-deurope-mustela-lutreola>] (consulté le 05/11/2023).

OFFICE OF FEDERAL REGISTER (2023) Federal Register, Code for Federal Regulations, Title 50, Chapter I, Subchapter B, Part 17, Subpart H, § 17.84 -- Species-specific rules—vertebrates. <https://www.ecfr.gov/current/title-50/part-17/section-17.84>

OFFICE OF FEDERAL REGISTER (2015) Federal register, Volume 80, Number 210. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2015-10-30/pdf/FR-2015-10-30.pdf>

OFFICE OF FEDERAL REGISTER (1974) Federal register, Volume 39, Number 3. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2015-10-30/pdf/FR-2015-10-30.pdf>

OFFICE OF FEDERAL REGISTER (1970) Federal register, Volume 35, Number 106. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-1970-06-02/pdf/FR-1970-06-02.pdf>

OFFICE OF FEDERAL REGISTER (1967) Federal register, Volume 32, Number 48. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-1967-03-11/pdf/FR-1967-03-11.pdf#page=1>

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (OMS) (2023) Peste. In *Organisation Mondiale de la Santé*. [<https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/plague>] (consulté le 11/10/2023).

PARKS CANADA AGENCY (2023) Report on the Implementation of the Recovery Strategy for the Black-footed Ferret (*Mustela nigripes*) in Canada (2018-2022). [<https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/species-risk-public-registry/report-progress-recovery-document/black-footed-ferret-2023.html>] (consulté le 30/10/2023).

PARSI-POUR, P., KILBOURNE, B.M. (2020) Functional Morphology and Morphological Diversification of Hind Limb Cross-Sectional Traits in Mustelid Mammals. *Integrative Organismal Biology* vol. 2, n° 1, p. obz032. [<https://doi.org/10.1093/iob/obz032>]

PŮDRA, M., GÓMEZ, A., PALAZÓN, S. (2013) Do American mink kill European mink? Cautionary message for future recovery efforts. *European Journal of Wildlife Research* vol. 59, n° 3, p. 431-440. [<https://doi.org/10.1007/s10344-013-0689-8>]

POESSEL, S.A., BRECK, S.W., BIGGINS, D.E., *et al.* (2011) Landscape features influence postrelease predation on endangered black-footed ferrets. *Journal of Mammalogy* vol. 92, n° 4, p. 732-741. [<https://doi.org/10.1644/10-MAMM-S-061.1>]

POSTER, E. (2021) Plan to poison prairie dogs and eliminate black-footed ferret habitat on Thunder Basin National Grassland litigated. *Endangered Species Coalition*. [<https://www.endangered.org/fwd-release-plan-to-poison-prairie-dogs-and-eliminate-black-footed-ferret-habitat-on-thunder-basin-national-grassland-litigated/>] (consulté le 20/10/2023).

POWELL, R.A., CLARK, T.W., RICHARDSON, L., *et al.* (1985) Black-footed ferret (*Mustela nigripes*) energy expenditure and prey requirements. *Biological Conservation* vol. 34, n° 1, p. 1-15. [[https://doi.org/10.1016/0006-3207\(85\)90054-0](https://doi.org/10.1016/0006-3207(85)90054-0)]

PRENTICE, M.B., RAHALISON, L. (2007) Plague. *The Lancet* vol. 369, n° 9568, p. 1196-1207. [[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)60566-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)60566-2)]

PUKAZHENTHI, B.S., NEUBAUER, K., JEWGENOW, K., *et al.* (2006) The impact and potential etiology of teratospermia in the domestic cat and its wild relatives. *Theriogenology* vol. 66, n° 1, p. 112-121. [<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.03.020>]

QUESENBERRY, K.E., CARPENTER, J.W. (Éd.) (2012) Ferrets, rabbits, and rodents: clinical medicine and surgery, 3rd Edition. St. Louis, Elsevier/Saunders.

REED, D., BRISCOE, D., FRANKHAM, R. (2002) Inbreeding and extinction: The effect of environmental stress and lineage. *Conservation Genetics* vol. 3, n° 3, p. 301-307. [<https://doi.org/10.1023/A:1019948130263>]

REED-SMITH, J., LOMBARDI, C., MASLANKA, M., *et al.* (2010) AZA Small Carnivore TAG 2010. Mustelid (Mustelidae) Care Manual. <https://nagonline.net/wp-content/uploads/2014/05/MustelidCareManual2010-NAG-EDIT.pdf>

REVIVE & RESTORE (2023) Black-footed Ferret, Species - Revive & Restore [<https://reviverestore.org/projects/black-footed-ferret/about-the-species/>] (consulté le 30/10/2023).

RICHARDSON, L., CLARK, T.W., FORREST, S.C., *et al.* (1987) Winter Ecology of Black-footed Ferrets (*Mustela nigripes*) at Meeteetse, Wyoming. *American Midland Naturalist* vol. 117, n° 2, p. 225. [<https://doi.org/10.2307/2425964>]

RISCO-CASTILLO, V. (2019) Toxoplasma et Neospora. École Nationale Vétérinaire d'Alfort, Département d'élevage et de pathologie des équidés et carnivores

ROCKE, T.E., NOL, P., MARINARI, P.E., *et al.* (2006) Vaccination as a potential means to prevent plague in black-footed ferrets : Progress and continuing challenges. n° 2005-5293, Scientific Investigations Report, Scientific Investigations Report. Reston, Va, U.S. Geological Survey. [<https://doi.org/10.3133/2002466>]

ROCKE, T.E., TRIPP, D.W., RUSSELL, R.E., *et al.* (2017) Sylvatic Plague Vaccine Partially Protects Prairie Dogs (*Cynomys* spp.) in Field Trials. *EcoHealth* vol. 14, n° 3, p. 438-450. [<https://doi.org/10.1007/s10393-017-1253-x>]

ROELLE, J.E., MILLER, B.J., GODBEY, J.L., *et al.* (Éd.) (2006) Section V - Reestablishing Populations. *In Scientific Investigations Report*. Présenté à Recovery of the Black-footed Ferret : Progress and Continuing Challenges, Fort Collins, Colorado, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, p. 153-210.

ROEMER, D.M. (1997) Prairie dog control in the United States : an analysis of programs and policies. Missoula, Montana, University of Montana.

ROEMER, D.M., FORREST, S.C. (1996) Prairie Dog Poisoning in Northern Great Plains: An Analysis of Programs and Policies. *Environmental Management* vol. 20, n° 3, p. 349-359. [<https://doi.org/10.1007/BF01203843>]

SANTYMIRE, R. (2020) One Health in Montana (2013-2020). *In Lincoln Park Zoo*.

- [<https://www.lpzoo.org/science-project/one-health-in-montana/>] (consulté le 19/11/2023).
- SANTYMIRE, R. (2016) Implementing the use of a biobank in the endangered black-footed ferret (*Mustela nigripes*). *Reproduction, Fertility and Development* vol. 28, n° 8, p. 1097. [<https://doi.org/10.1071/RD15461>]
- SANTYMIRE, R., GRAVES, G. (2018) Black-footed Ferret SAFE Program Action Plan 2019-2021. n° 3.
- SANTYMIRE, R., MARINARI, P., KREEGER, J., *et al.* (2006) Sperm viability in the black-footed ferret (*Mustela nigripes*) is influenced by seminal and medium osmolality. *Cryobiology* vol. 53, n° 1, p. 37-50. [<https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2006.03.009>]
- SANTYMIRE, R.M., LAVIN, S.R., BRANVOLD-FABER, H., *et al.* (2020) Influence of vitamin E and carcass feeding supplementation on fecal glucocorticoid and androgen metabolites in male black-footed ferrets (*Mustela nigripes*). *PLOS ONE* vol. 15, n° 10, p. e0241085. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241085>]
- SANTYMIRE, R.M., LAVIN, S.R., BRANVOLD-FABER, H., *et al.* (2015) Effect of dietary vitamin E and prey supplementation on semen quality in male black-footed ferrets (*Mustela nigripes*). *Theriogenology* vol. 84, n° 2, p. 217-225. [<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.03.007>]
- SANTYMIRE, R.M., MARINARI, P.E., KREEGER, J.S., *et al.* (2007) Slow cooling prevents cold-induced damage to sperm motility and acrosomal integrity in the black-footed ferret (*Mustela nigripes*). *Reproduction, Fertility, and Development* vol. 19, n° 5, p. 652-663. [<https://doi.org/10.1071/rd06096>]
- SATO, J., WOLSAN, M., PREVOSTI, F., *et al.* (2012) Evolutionary and biogeographic history of weasel-like carnivorans (Musteloidea). *Molecular Phylogenetics and Evolution* vol. 63, n° 3, p. 745-757. [<https://doi.org/10.1016/j.ympev.2012.02.025>]
- SCHEIDECKER, S. (2012) Anatomie clinique du furet - Réalisation d'un atlas photographique. Thèse de médecine vétérinaire. École Nationale Vétérinaire d'Alfort.
- SCHULER, K., CLAYMORE, M., SCHNITZLER, H., *et al.* (2021) Sentinel coyote pathogen to asses declining Black-footed ferret (*Mustela nigripes*) population in South Dakota, USA. *Journal of Wildlife Diseases* vol. 57, n° 2, p. 264-272. [<https://doi.org/10.7589/JWD-D-20-00015>]
- SEGLUND, A.E., SCHNURR, P.M. (2010) Colorado Gunnison's and White-tailed Prairie Dog Conservation Strategy. Denver, Colorado., Colorado Division of Wildlife.

SMITH, O., WAJJWALKU, W., BOODDE, O., *et al.* (2006) Canine distemper virus antibodies in the Asian elephant (*Elephas maximus*). *The Veterinary Record* vol. 159, p. 420-1. [<https://doi.org/10.1136/vr.159.13.420>]

TAYLOR, A. (2002) Assessing the consequences of inbreeding for population fitness: past challenges and future prospects. *In* Holt, W.V., Pickard, A.R., Rodger, J.C., *et al.* (Éd.), *Reproductive Science and Integrated Conservation*. Cambridge University Press, p. 67-81. [<https://doi.org/10.1017/CBO9780511615016.007>]

TEXAS PARKS AND WILDLIFE DEPARTMENT (2023) Black-footed Ferret (*Mustela nigripes*). [<https://tpwd.texas.gov/huntwild/wild/species/bfferret/>] (consulté le 14/10/2023).

THE NATURE CONSERVANCY (2023) Black-footed Ferret. [<https://www.nature.org/en-us/get-involved/how-to-help/animals-we-protect/black-footed-ferret/>] (consulté le 13/11/2023).

TORONTO ZOO | Animals (2023) . *In* Toronto Zoo. [<https://www.torontozoo.com/animals/Black-footed%20ferret>] (consulté le 14/10/2023).

TUCKWELL, J., EVEREST, T. (2009) Recovery Strategy for the Black-footed Ferret (*Mustela nigripes*) in Canada [PROPOSED], Recovery Strategy Series. Ottawa, Parks Canada Agency. https://www.registrelep-sararegistry.gc.ca/virtual_sara/files/plans/rs_blackfooted_ferret_0309_f.pdf

TURNER ENDANGERED SPECIES FUND (2019) Black-Footed Ferret | Turner Endangered Species Fund. [<https://tesf.org/project/black-footed-ferret/>] (consulté le 15/11/2023).

U.S. BUREAU OF LAND MANAGEMENT (2005) Final statewide programmatic biological assessment: black-footed ferret (*Mustela nigripes*). Wyoming, U.S. Bureau of Land Management. [<https://www.nrc.gov/docs/ML1417/ML14172A129.pdf>]

U.S. FISH AND WILDLIFE SERVICE (2023) Endangered and Threatened Wildlife and Plants; Revision of a Nonessential Experimental Population of Black-Footed Ferrets (*Mustela nigripes*) in the Southwest, Federal Register / Vol. 88, No. 192. [<https://www.federalregister.gov/documents/2023/10/05/2023-21978/endangered-and-threatened-wildlife-and-plants-revision-of-a-nonessential-experimental-population-of>]

U.S. FISH AND WILDLIFE SERVICE (2017) Black-Footed Ferret Managed Care Operations Manual. U.S. Fish and Wildlife Service. [<https://www.fws.gov/sites/default/files/documents/black-footed-ferret-managed-care-operations-manual-2017.pdf>]

U.S. FISH AND WILDLIFE SERVICE (2013) Recovery plan for the black-footed ferret (*Mustela nigripes*). Denver, Colorado., U.S. Fish and Wildlife Service. [<https://www.nrc.gov/docs/ML1417/ML14176B137.pdf>]

U.S. FISH AND WILDLIFE SERVICE (2008) Black-footed Ferret (*Musteta nigripes*) 5-Year Status Review : Summary and Evaluation. Pierre, U.S. Fish and Wildlife Service South Dakota Field Office. [<https://www.nrc.gov/docs/ML1109/ML110900411.pdf>]

U.S. FISH AND WILDLIFE SERVICE (2002) Endangered and Threatened Wildlife and Plants; Proposed Establishment of a Nonessential Experimental Population of Black-footed Ferrets in South-central South Dakota, Federal Register / Vol. 67, No. 176. [<https://www.federalregister.gov/documents/2003/05/16/03-12199/endangered-and-threatened-wildlife-and-plants-establishment-of-nonessential-experimental-population>]

U.S. FISH AND WILDLIFE SERVICE (2001) ENDANGERED BLACK-FOOTED FERRETS RETURN TO MEXICO | U.S. Fish & Wildlife Service. *In U.S. Fish and Wildlife Service*. [<https://www.fws.gov/story/2001-11/endangered-black-footed-ferrets-return-mexico>] (consulté le 15/11/2023).

U.S. FISH AND WILDLIFE SERVICE (1998) Endangered and Threatened Wildlife and Plants: Establishment of a Nonessential Experimental Population of Black-footed Ferrets in Northwestern Colorado and Northeastern Utah. Part III: Rules and Regulations, Federal Register / Vol. 63, No.190. Office of the Federal Register, National Archives and Records Administration.[<https://www.govinfo.gov/app/details/FR-1998-10-01/98-26096>]

U.S. FISH AND WILDLIFE SERVICE (1996) Black-footed Ferret (*Mustela nigripes*). *In FWS.Gov*. [<https://www.fws.gov/species/black-footed-ferret-mustela-nigripes>] (consulté le 08/10/2023).

U.S. FISH AND WILDLIFE SERVICE (1988) Black-Footed Ferret Recovery Plan. n° 2. Denver, Colorado., US Fish and Wildlife Service.

U.S. FISH AND WILDLIFE SERVICE (1978) Black-Footed Ferret Recovery Plan. n° 1. US Fish and Wildlife Service.

U.S. FISH AND WILDLIFE SERVICE, BLACK-FOOTED FERRET RECOVERY IMPLEMENTATION TEAM (2019) Species Status Assessment Report for the Black-footed Ferret (*Mustela nigripes*) 2019.

U.S. NATIONAL PARK SERVICE (2020) Black-footed Ferret: Rebounding in the Badlands (U.S. National Park Service). [<https://www.nps.gov/articles/000/black-footed-ferret-badl.htm>] (consulté le 07/10/2023).

VARGAS, A., ANDERSON, S.H. (1996) Growth and Physical Development of Captive-Raised Black-Footed Ferrets (*Mustela nigripes*). *American Midland Naturalist* vol. 135, n° 1, p. 43. [<https://doi.org/10.2307/2426870>]

VAUTHIER, M. (2020) Le développement de l'insémination artificielle chez le vison d'Europe (*Mustela lutreola*) : intérêt de l'utilisation du furet domestique (*Mustela putorius furo*) comme modèle expérimental. Thèse de médecine vétérinaire d'Alfort, France, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort.

VIRCHOW, D., HYGNSTROM, S.E. (2002) Distribution and Abundance of Black-Tailed Prairie Dogs in the Great Plains: A Historical Perspective. *Great Plains Research* vol. 12, n° 2, p. 197-218.

VOSBURGH, T. (1996) Impacts of recreational shooting on prairie dog colonies. Bozeman, Montana, Montana State University.

WILLIAMS, E.S., MILLS, K., KWIATKOWSKI, D.R., *et al.* (1994) Plague in a Black-footed Ferret (*Mustela nigripes*). *Journal of Wildlife Diseases* vol. 30, n° 4, p. 581-585. [<https://doi.org/10.7589/0090-3558-30.4.581>]

WILLIAMS, E.S., THOME, E.T., APPEL, M.J.G., *et al.* (1988) CANINE DISTEMPER IN BLACK-FOOTED FERRETS (*MUSTELA NIGRIPES*) FROM WYOMING. *Journal of Wildlife Diseases* vol. 24, n° 3, p. 385-398. [<https://doi.org/10.7589/0090-3558-24.3.385>]

WIMSAT, J.M., BIGGINS, D.E., WILLIAMS, E.S., *et al.* (2006) The Quest for a Safe and Effective Canine Distemper Virus Vaccine for Black-footed Ferrets. In Roelle, J.E., Miller, B.J., Godbey, J.L., *et al.* (Éd.), *Scientific Investigations Report*. Présenté à Recovery of the Black-footed Ferret : Progress and Continuing Challenges, Fort Collins, Colorado, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, p. 248-266.

WISELY, S.M. (2006) The Genetic Legacy of the Black-footed Ferret: Past, Present, and Future. In Roelle, J.E., Miller, B.J., Godbey, J.L., *et al.* (Éd.), *Scientific Investigations Report*. Présenté à Recovery of the Black-footed Ferret : Progress and Continuing Challenges, Fort Collins, Colorado, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, p. 37-43.

WISELY, S.M. (2002) Genetic Diversity and Fitness in Black-Footed Ferrets Before and During a Bottleneck. *Journal of Heredity* vol. 93, n° 4, p. 231-237. [<https://doi.org/10.1093/jhered/93.4.231>]

WISELY, S.M., RYDER, O.A., SANTYMIRE, R.M., *et al.* (2015) A Road Map for 21st Century Genetic Restoration: Gene Pool Enrichment of the Black-Footed Ferret. *Journal of Heredity*

vol. 106, n° 5, p. 581-592. [<https://doi.org/10.1093/jhered/esv041>]

WOLF, K.N., WILDT, D.E., VARGAS, A., *et al.* (2000a) Reproductive inefficiency in male black-footed ferrets (*Mustela nigripes*). *Zoo Biology* vol. 19, n° 6, p. 517-528. [[https://doi.org/10.1002/1098-2361\(2000\)19:6<517::AID-ZOO4>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/1098-2361(2000)19:6<517::AID-ZOO4>3.0.CO;2-V)]

WOLF, K.N., WILDT, D.E., VARGAS, A., *et al.* (2000b) Age-Dependent Changes in Sperm Production, Semen Quality, and Testicular Volume in the Black-Footed Ferret (*Mustela nigripes*)1. *Biology of Reproduction* vol. 63, n° 1, p. 179-187. [<https://doi.org/10.1095/biolreprod63.1.179>]

WORLD WILDLIFE FUND (2016) Returning black-footed ferrets to the wilds of the Northern Great Plains, WWF. *In World Wildlife Fund*. [<https://www.worldwildlife.org/magazine/issues/spring-2016/articles/returning-black-footed-ferrets-to-the-wilds-of-the-northern-great-plains>] (consulté le 14/11/2023).

WRIGHT, M.L., LIVIERI, T.M., SANTYMIRE, R.M. (2022) Recombitek canine distemper vaccine as an alternative fore Purevax distmper vaccine in black-footed ferrets (*Mustela nigripes*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* vol. 53, n° 1, p. 194-199. [<https://doi.org/10.1638/2020-0228>]

WYOMING GAME AND FISH DEPARTMENT, WYOMING BLACK-FOOTED FERRET WORKING GROUP (2018) Wyoming Black-footed Ferret Management Plan. Wyoming, Wyoming Game and Fish Commission. [https://wgfd.wyo.gov/WGFD/media/content/PDF/Wildlife/Nongame/Wyoming-BFF-Management-Plan_11-14-2018.pdf]

YONEZAWA, T., NIKAIDO, M., KOHNO, N., *et al.* (2007) Molecular phylogenetic study on the origin and evolution of Mustelidae. *Gene* vol. 396, n° 1, p. 1-12. [<https://doi.org/10.1016/j.gene.2006.12.040>]

YOUNGMAN, P.M. (1990) *Mustela lutreola*. *Mammalian Species* n° 362, p. 1-3. [<https://doi.org/10.2307/3504269>]

ZHAO, R.-B., ZHOU, C.-Y., LU, Z.-X., *et al.* (2014) The complete mitochondrial genome of black-footed ferret, *Mustela nigripes* (*Mustela*, *Mustelinae*). *Mitochondrial DNA* vol. 27, n° 3, p. 1595-6. [<https://doi.org/10.3109/19401736.2014.958685>]

Annexe 1 : Recommandations pour la conservation du putois à pieds noirs

Black-Footed Ferret Recovery Program Analysis and Action Plan, écrit par Hutchins *et al.*, publié en 1996.

SUMMARY OF PRIORITY RECOMMENDATIONS

(Based on an independent evaluation of the working documents by AZA Conservation and Science staff.)

AZA Conservation and Science staff consider the following 15 action steps to be critical for the future of the Black-footed Ferret Recovery Program (listed in order of priority):

- (1) Reorganize the administrative structure of the Black-footed Ferret Recovery Program to help increase efficiency and communication and decrease the potential for inter-agency conflict.
- (2) Recognize U.S. Fish and Wildlife Service as the lead agency with final authority over the Black-footed Ferret Recovery Program. Recognize federal, state and non-governmental partners as essential to recovery and the necessity of communication and consultation to maintain the partnership.
- (3) Increase program accountability by requiring that annual work plans and progress reports be submitted to the Recovery Program Coordinator. Recognize the importance of consistency in program leadership.
- (4) Initially focus short-term reintroduction efforts on no more than three sites. Expand the number of sites as success is achieved and additional ferrets become available for release.
- (5) Develop a plan for the preservation of existing and potential ferret habitat (i.e., large prairie dog complexes). Identify additional appropriate reintroduction sites as soon as possible.
- (6) Establish consistent, long-term funding for the program. Particular attention must be given to keeping the National Ferret Breeding Center (in Sybille, Wyoming) and current active reintroduction sites operational.
- (7) Double or even triple the size of the current captive breeding population.
- (8) Minimize the potential effects of catastrophic loss from disease in captive and free-ranging populations.
- (9) Develop a consistent, fair, and standardized process for prioritizing release sites and allocating ferrets.
- (10) Develop a series of protocols and contingency plans for a variety of situations that have the potential to create confusion and conflict among cooperating agencies and organizations.
- (11) Define appropriate level of preconditioning through experimentation. Attempt to precondition all release candidates to help increase their probability of survival post-release.
- (12) Develop an organized, cooperative public relations/education strategy to increase awareness and appreciation of the black-footed ferret and its prairie ecosystem and to deal with crisis situations should they arise.
- (13) Whenever possible, use empirical techniques to test different animal management and reintroduction strategies.
- (14) Form an Animal Care and Use Committee to review animal disposition policies, research protocols and animal management techniques from an animal welfare perspective.

(15) Use the AZA Black-footed Ferret Recovery Program Analysis and Action Plan document as a basis for revising the 1988 Black-footed Ferret Recovery Plan. In the interim, use the A. Plan to set the Recovery Program direction.

Résumé des recommandations prioritaires

(Basé sur une évaluation indépendante des documents de travail de l'AZA Conservation et du Conseil scientifique)

Le personnel d'AZA Conservation et Science considère que les 15 actions suivantes sont essentielles pour l'avenir du programme de rétablissement du putois d'Amérique (listées par ordre de priorité) :

(1) Réorganiser la structure administrative du programme de rétablissement du putois d'Amérique afin d'augmenter l'efficacité et la communication et de diminuer le potentiel de conflit entre les agences.

(2) Reconnaître l'U.S. Fish and Wildlife Service comme l'agence principale ayant l'autorité finale sur le programme de rétablissement du putois d'Amérique. Reconnaître que les partenaires fédéraux, étatiques et non gouvernementaux sont essentiels au rétablissement et qu'il est nécessaire de communiquer et de se consulter pour maintenir le partenariat.

(3) Renforcer la responsabilité du programme en exigeant que les plans de travail annuels et les rapports d'avancement soient soumis au coordinateur du programme de rétablissement. Reconnaître l'importance de la cohérence dans la direction du programme.

(4) Dans un premier temps, concentrer les efforts de réintroduction à court terme sur trois sites au maximum. Augmenter le nombre de sites en fonction des succès obtenus et de la disponibilité de furets supplémentaires à relâcher.

(5) Élaborer un plan de préservation de l'habitat existant et potentiel du furet (c'est-à-dire les grands complexes de chiens de prairie). Identifier dès que possible d'autres sites de réintroduction appropriés.

(6) Établir un financement cohérent et à long terme pour le programme. Une attention particulière doit être accordée au maintien opérationnel du National Ferret Breeding Center (à Sybille, Wyoming) et des sites de réintroduction actifs actuels.

(7) Doubler, voire tripler la taille de la population reproductrice en captivité.

(8) Minimiser les effets potentiels des pertes catastrophiques dues aux maladies dans les populations en captivité et en liberté.

(9) Élaborer une procédure cohérente, équitable et normalisée pour établir un ordre de priorité entre les sites de lâcher et l'attribution des furets.

(10) Élaborer une série de protocoles et de plans d'urgence pour diverses situations susceptibles de créer de la confusion et des conflits entre les agences et les organisations coopérantes.

(11) Définir le niveau approprié de préconditionnement par l'expérimentation. Tenter de préconditionner tous les candidats à la remise en liberté afin d'augmenter leurs chances de survie après la remise en liberté.

(12) Développer une stratégie organisée et coopérative de relations publiques/éducation pour augmenter la prise de conscience et l'appréciation du putois d'Amérique et de son écosystème prairie et pour faire face aux situations de crise si elles surviennent.

(13) Dans la mesure du possible, utiliser des techniques empiriques pour tester différentes stratégies de gestion et de réintroduction des animaux.

(14) Former un comité de soins et d'utilisation des animaux chargé d'examiner les politiques de disposition des animaux, les protocoles de recherche et les techniques de gestion des animaux du point de vue du bien-être des animaux.

(15) Utiliser le document AZA Black-footed Ferret Recovery Program Analysis and Action Plan comme base pour réviser le 1988 Black-footed Ferret Recovery Plan. Dans l'intervalle, utiliser le plan A pour définir l'orientation du programme de rétablissement.

[Notre traduction]

Annexe 2 : Caractéristiques des sites de réintroduction du putois à pieds noirs entre 1991 et 2018 et leur statut en 2018

Site Name and Location	Year(s) Initiated	PD Species ¹	Active PD Hectares	Potential PD Hectares	Active?	#BFF Fall 2018 ²	Max # Fall BFF seen (Year) ^{2,3}
Shirley Basin, WY	1991	WTPD	21,711	73,574	Yes	30	229 (2006) ⁴
Conata Basin-Badlands, SD	1994, 1996	BTPD	5,494	12,141	Yes	119	355 (2007)
UL Bend NWR, MT	1994	BTPD	202	728	Yes	1	56 (1999)
Aubrey Valley/Double O Ranch, AZ	1996, 2016	GPD	26,485	106,846	Yes	9	123 (2012)
Ft. Belknap Reservation, MT	1997	BTPD	688	3,035	Yes	11	55 (1998)
Coyote Basin, CO/UT	1999	WTPD	10,117	19,830	Yes	3	45 (2003)
Cheyenne River Sioux Tribe, SD	2000	BTPD	2,428	16,592	No	0	173 (2006)
Wolf Creek, CO	2001	WTPD	1,594	12,141	No	0	38 (2001)
BLM 40 Complex, MT	2001	BTPD	202	486	No	0	10 (2004)
Janos, MX	2001	BTPD	2,226	15,000	No	0	15 (2003)
Rosebud Sioux Tribe, SD	2003	BTPD	1,012	28,329	No	0	30 (2004)
Lower Brule Sioux Tribe, SD	2006	BTPD	723	2,226	Yes	10	29 (2010)
Wind Cave NP, SD	2007	BTPD	739	1,133	Yes	18	49 (2010)
Espee Ranch, AZ	2007	GPD	8,811	56,356	No	0	22 (2008)
Butte Creek Ranches, KS	2007	BTPD	2,145	3,157	Yes	13	79 (2011)
Northern Cheyenne Tribe, MT	2008	BTPD	324	3,440	No	0	6 (2009)
Vermejo Park Ranch (BTPD), NM	2008	BTPD	4,047	4,047	No	0	28 (2010)
Grasslands NP, SK	2009	BTPD	769	3,561	No	0	17 (2010)
Vermejo Park Ranch (GPD), NM	2012	GPD	405	1,619	No	0	5 (2013)
Walker Ranch, CO	2013	BTPD	340	1,195	No	0	3 (2014)
City of Fort Collins, CO	2014	BTPD	746	1,619	Yes	8	11 (2016)
North Holly, CO	2014	BTPD	55	1,514	No	0	1 (2015)
Liberty, CO	2014	BTPD	93	607	No	0	2 (2015)
Rocky Mountain Arsenal NWR, CO	2015	BTPD	1,214	1,214	Yes	79	79 (2018)
Crow Reservation, MT	2015	BTPD	1,985	3,316	Yes	10	22 (2017)
South Holly, CO	2015	BTPD	120	689	No	0	1 (2015)
Meeteetse, WY	2016	WTPD	2,236	2,870	Yes	26	129 (1984)
Bad River Ranch, SD	2017	BTPD	121	1,335	No	0	8 (2017)
Moore Ranch, NM	2018	BTPD	164	609	Yes	3	3 (2018)
TOTALS			97,197	379,210		340	1,623

(USFWS et Black-footed Ferret Recovery Implementation Team, 2019)

1. WTPD = chien de prairie à queue blanche, BTPD = chien de prairie à queue noire, GPD = chien de prairie de Gunnison
2. Nombre minimum d'individus vivants, sauf indication contraire.
3. Les nombres indiqués ne correspondent pas nécessairement aux aires actives ou potentielles de chiens de prairie telles qu'elles figurent dans ce tableau ; la superficie étudiée varie d'une année à l'autre dans la plupart des sites.
4. Estimation corrélée de la densité dérivée d'une zone d'étude de 8 369 ha.

Annexe 3 : Détermination de l'œstrus chez la femelle putois à pies noirs

Protocole de détermination de l'œstrus chez la femelle putois à pieds noirs d'après le U.S. Fish and Wildlife Service Black-footed Ferret Managed Care Operations Manual.

1. Repérer l'œdème vulvaire, signe des prochaines chaleurs

Les femelles sont attrapées toutes les deux semaines et placées dans de petites cages à contention afin d'observer la région inguinale.



Figure 29 : Examination de la vulve des femelles putois à pieds noirs dans le cadre de la détection des chaleurs, à gauche une vulve normale, à droite une vulve œdématiée signe de l'arrivée des chaleurs

Une fois le gonflement vulvaire objectivé, des examens cytologiques sont menés.

2. Réaliser des examens cytologiques vaginaux

Les femelles sont ensuite attrapées toutes les semaines et mises dans de petites cages à contention afin de réaliser des examens cytologiques vaginaux. Pour cela, des lavages vaginaux sont effectués et le liquide récolté analysé au microscope.

Lavage vaginal : Effectuer des lavages vaginaux en contention, à l'aide d'une micropipette et injecter 50 microlitres (μL) de solution saline stérile dans le vagin. L'aspirer et placer la solution de lavage en une fine pellicule sur une lame.



Figure 30 : Réalisation d'un lavage vaginal chez une femelle putois à pieds noirs

Préparation de la lame : Sécher et vaporiser la lame avec un fixateur, puis colorer la lame. La coloration la plus facile à lire pour la cytologie du putois à pieds noirs est une méthode Papanicolaou® modifiée, mise au point par le Dr Beth Williams. Les lames peuvent être colorées à l'aide de Dif-Quik® ; cependant, l'identification des types de cellules est plus difficile car les cellules kératinisées sont simplement de différentes nuances de violet et n'atteignent pas la couleur orangée des cellules kératinisées comme c'est le cas avec la coloration de Papanicolaou®.

Détermination du stade du cycle sexuel par lecture de la lame : Observer les cellules à une puissance de 40x et compter 100 cellules pour obtenir le pourcentage de cellules kératinisées. Il est possible d'effectuer cette opération plusieurs fois afin d'obtenir une moyenne.

De manière caractéristique, la lame d'une femelle putois à pieds noirs en plein œstrus révèle que 90 % ou plus des cellules épithéliales sont kératinisées et, si l'on utilise la coloration de Papanicolaou®, fortement kératinisées ou de couleur orange.

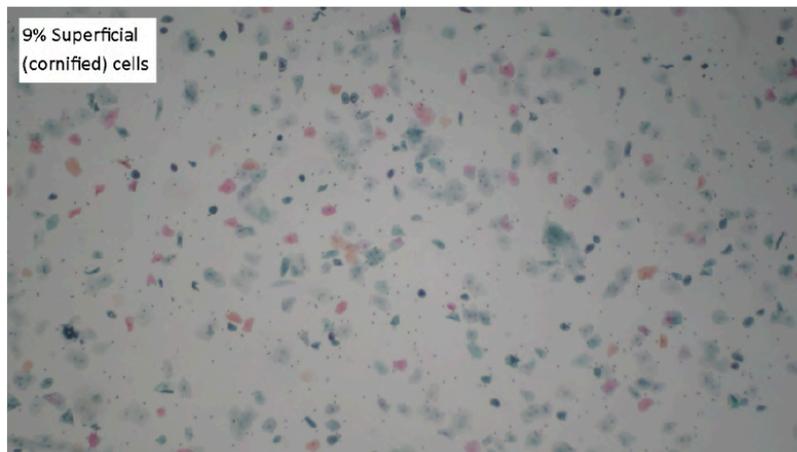


Figure 32 : Examen cytologique vaginal d'une femelle putois à pieds noirs présentant 9% de cellules kératinisées

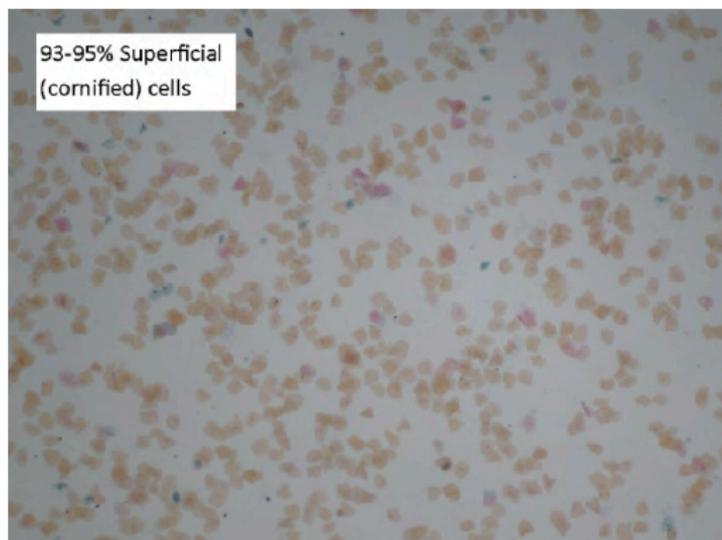


Figure 31 : Examen cytologique vaginal d'une femelle putois à pieds noirs présentant 93 à 95% de cellules kératinisées

[Notre traduction]

Annexe 4 : Protocole de récolte de semence chez le putois à pieds noirs

Protocole de récolte de semence chez le mâle putois à pieds noirs d'après le U.S. Fish and Wildlife Service Black-footed Ferret Managed Care Operations Manual (2017).

L'animal est anesthésié, et si son état est stable, le protocole de récolte de semence est lancé :

1. Procéder au prolapsus du pénis, s'assurer qu'il n'y a pas d'urine (tamponner avec de la gaze sèche). Ne pas utiliser de gelée KY.
2. Lubrifier la sonde avec de la gelée KY.
3. Insérer la sonde doucement dans le rectum avec une pression régulière vers l'avant.
4. Positionner les deux électrodes ventralement de sorte qu'elles soient directement au-dessus des glandes sexuelles accessoires sous-jacentes.
5. Déterminer que l'animal est stable et que le personnel soignant est prêt pour que les stimulations commencent. Signaler à l'opérateur de la boîte EE de commencer la procédure.
6. La série I consiste généralement en 10 stimulations à 2 volts, 10 à 3 volts et 10 à 4 volts. Toute série peut être modifiée pour tout animal en fonction de sa taille, de son âge, du niveau d'anesthésie, de la production de sperme et d'autres facteurs.

Exemple de série :

- a. Augmentation de 0 à 2 volts sur une période de 3 secondes ("montée")
- b. Maintien à 2 volts pendant 2 secondes
- c. Retour brutal à 0 ("descente") et pause de 2 secondes
- d. Répétition 10 fois
- e. Augmentation de 0 à 3 volts sur une période de 3 secondes ("montée")
- f. Maintien à 3 volts pendant 2 secondes
- g. Retour brutal à 0 ("descente") et pause de 2 secondes
- h. Répétition 10 fois
- i. Augmentation de 0 à 4 volts sur une période de 3 secondes ("montée")
- j. Maintenez à 4 volts pendant 2 secondes
- k. Retour brutal à 0 ("descendre") et faites une pause de 2 secondes
- l. Répétition 10 fois
- m. Reposer l'animal 3 à 5 minutes entre chaque série pendant le traitement de l'échantillon.
- n. Masser la sonde dans le rectum entre chaque série.

Pendant la stimulation de l'animal, exercer une légère pression ventrale sur la sonde. Si la sonde doit être repositionnée, le faire entre les stimulations et non pendant. Une bonne communication entre le collecteur, l'opérateur de la boîte et le personnel soignant est cruciale. Le sperme est prélevé sur l'extrémité du pénis à l'aide du Pipetman® de 20 µl. mettez-le directement dans le milieu de conservation.

Mélanger lentement l'échantillon dans et hors de l'embout de la pipette. Pendant la collecte, 1 à 2 µl de sperme RAW doivent être placés dans un fixateur pour l'évaluation de la morphologie des spermatozoïdes. Placer immédiatement le sperme dans un fixateur de glutaraldéhyde à 0,3 % à température ambiante. Garder à température ambiante pendant au moins 15 minutes, puis conserver à 4°C.

En cas de contamination par l'urine, l'échantillon sera moins visqueux que le sperme et aura une teinte jaune. Si l'on soupçonne qu'un éjaculat contient de l'urine, il faut le placer dans un flacon eppendorf séparé avec le milieu de conservation.

L'urine ne signifie pas nécessairement que le mâle n'est pas prêt à s'accoupler avec une femelle. Cela peut simplement être dû à l'emplacement de la sonde. L'urine dilue l'échantillon et peut tuer les spermatozoïdes.

7. Reposer l'animal (~ 3-5 minutes) entre chaque série.
8. La série II consiste généralement en 10 stimulations à 3 volts, 10 à 4 volts et 10 à 5 volts.
9. La série III consiste généralement en 10 stimulations à 4 volts et 10 à 5 volts.
10. La série IV comprend généralement 10 stimulations à 5 volts et 10 à 6 volts.



Figure 33 : Sonde d'électro-éjaculation de 0,6cm de diamètre, utilisée chez le putois à pieds noirs

La semence est ensuite analysée au microscope pour déterminer la morphologie, la motilité, le statut de progression vers l'avant et la concentration du sperme.

[Notre traduction]

Annexe 5 : Protocole de l'insémination artificielle chez le putois à pieds noirs

Protocole d'insémination artificielle intra-utérine chez le putois à pieds noirs d'après le U.S. Fish and Wildlife Service Black-footed Ferret Managed Care Operations Manual (2017).

Pour la réalisation de l'insémination artificielle, la femelle doit être en œstrus (cf. Annexe 3) et l'ovulation est déclenchée par une injection d'hormone lutéinisante de porc, aussi appelée LH pour « luteinizing hormon ». La dose recommandée pour l'espèce est de 2 000 UI. L'utilisation de la gonadotrophine chorionique humaine, ou hCG pour « human chorionic gonadotropin », n'est pas recommandée car son utilisation chez cette espèce provoque la formation d'anticorps anti-hCG.

Laparoscopie et insémination intra-utérine :

La technique d'insémination laparoscopique, mise au point pour déposer les spermatozoïdes directement dans la corne utérine à l'aide d'un cathéter inséré à travers la paroi abdominale, a été développée pour les putois à pieds noirs. Les femelles anesthésiées sont placées en décubitus dorsal et inclinées tête en bas à environ 45° de la verticale. Un pneumopéritoine est créé avec du dioxyde de carbone à 5 % ou de l'air ambiant instillé par une aiguille de Veress de 5 mm placée par voie transabdominale. Un laparoscope de 180° (généralement de 5 mm de diamètre) inséré par une incision cutanée médiane crâniale à l'ombilic est utilisé pour visualiser l'appareil reproducteur. Dans les cas de putois à pieds noirs, les ovaires sont noyés dans le tissu adipeux et ne peuvent pas être visualisés par laparoscopie. Le corps utérin peut être observé dorsalement à la vessie et les cornes utérines peuvent être tracées à partir du corps utérin. L'aiguille de Veress est utilisée pour positionner l'utérus en vue de la mise en place du cathéter. La corne utérine est canulée à l'aide d'un cathéter à demeure stérile de calibre 22 inséré par voie percutanée à travers la paroi abdominale ventrale dans la lumière utérine. Le stylet du cathéter est retiré et l'échantillon de sperme est déposé dans l'embase du cathéter. Une seringue de 1 mL est ensuite fixée au cathéter et une petite quantité (~ 0,3 mL) d'air est utilisée pour l'administration de la suspension de spermatozoïdes hors du cathéter et dans la lumière utérine. L'ensemble de la procédure est répété sur la corne utérine controlatérale.

[Notre traduction]

LE PUTOIS À PIEDS NOIRS (*MUSTELA NIGRIPES*), UN MODÈLE DE CONSERVATION POUR LA FAMILLE DES MUSTÉLIDÉS : INTÉRÊT DANS LE PROJET DE RÉINTRODUCTION DU VISON D'EUROPE (*MUSTELA LUTREOLA*)

AUTEUR : Nina PIPA

RÉSUMÉ :

Le putois à pieds noirs (*Mustela nigripes*) est un petit mustélidé menacé d'extinction. Endémique d'Amérique du Nord, il fut considéré comme éteint en 1979. Un vaste programme de reproduction et de réintroduction a permis le rétablissement de l'espèce à l'état sauvage depuis maintenant plusieurs années.

Le vison d'Europe (*Mustela lutreola*) est un petit carnivore de la famille des Mustélidés, classé depuis 2011 comme « en danger critique d'extinction » dans la liste rouge de l'IUCN. Cette espèce fait l'objet de plusieurs projets de conservation, dont le dernier actuellement en cours en France cherche à développer l'insémination artificielle.

Cette étude a pour but le regroupement des données concernant la mission de conservation du putois à pieds noirs, ainsi que la description et l'analyse du programme mené jusqu'à ce jour dans le but de transposer ces travaux au vison d'Europe. Ce faisant, notre étude démontre l'intérêt de la considération du putois à pieds noirs comme d'un modèle de conservation pour la famille des Mustélidés, et plus particulièrement pour le vison d'Europe. Les résultats positifs de cette analyse laissent supposer des perspectives encourageantes pour le programme d'insémination artificielle chez le vison d'Europe en cours de développement en France.

MOTS CLÉS : PUTOIS À PIEDS NOIRS, VISON D'EUROPE, CONSERVATION, REPRODUCTION ASSISTÉE, DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE

JURY :

Président : Pr Laurent TIRET

Directeur de thèse : Pr Alain FONTBONNE

Examineur : Dr Charly PIGNON

BLACK-FOOTED FERRET (MUSTELA NIGRIPES), A CONSERVATION MODEL FOR THE MUSTELIDS FAMILY: INTEREST IN THE EUROPEAN MINK (MUSTELA LUTREOLA) REINTRODUCTION PROJECT

AUTHOR: Nina PIPA

SUMMARY:

The black-footed ferret (*Mustela nigripes*) is a small mustelid threatened with extinction. Endemic to North America, it was considered extinct in 1979. A vast breeding and reintroduction program has enabled the species' recovery in the wild for several years now.

The European mink (*Mustela lutreola*) is a small carnivore of the Mustelidae family, classified as "critically endangered" on the IUCN Red List in 2011. This species is the subject of several conservation projects, the latest of which, currently underway in France, seeks to develop artificial insemination.

The aim of this study is to compile data on the black-footed ferret's conservation mission, and to describe and analyze the program carried out to date, with a view to transposing this work to the European mink. In doing so, our study demonstrates the value of considering the black-footed ferret as a conservation model for the Mustelidae family, and more specifically for the European mink. The positive results of this analysis suggest encouraging prospects for the European mink artificial insemination program currently under development in France.

KEYWORDS: BLACK-FOOTED FERRET, EUROPEAN MINK, CONSERVATION, ASSISTED REPRODUCTION, GENETIC DIVERSITY

JURY:

Chairperson: Pr Laurent TIRET

Thesis Director: Pr Alain FONTBONNE

Reviewer: Dr Charly PIGNON