



# LE PROJET MARMOTTE ALPINE

## Guide de terrain



©Marie-Léa Travert

Copyright: Of Mountains and Marmots Project



## **TABLE DES MATIÈRES**

<b>INTRODUCTION</b>	p1
<b>PRÉSENTATION DU MODÈLE BIOLOGIQUE – LA MARMOTTE ALPINE</b>	p3
<b>PRÉSENTATION DU SITE D'ÉTUDE - LA RÉSERVE NATURELLE NATIONALE DE LA GRANDE SASSIÈRE</b>	p5
<b>SUIVI SCIENTIFIQUE DE LA POPULATION DE MARMOTTES ALPINES</b>	p7
Historique	p7
Zone d'étude	p7
<b>PROTOCOLE DE CAPTURE-MARQUAGE-RECAPTURE</b>	p9
Objectif	p9
Étape 1- Capturer	p9
Étape 2- Marquer	p11
Étape 3- Relâcher	p15
<b>PROTOCOLE D'OBSERVATIONS COMPORTEMENTALES</b>	p16
Objectif	p16
Suivi de la taille et de la composition des groupes familiaux	p16
Suivi des événements de reproduction	p17
Expériences comportementales -Test du phénomène du « Dear Enemy »	p17
<b>SUIVI DES CONDITIONS CLIMATIQUES</b>	p19
Objectif	p19
La station météorologique	p19
Les enregistreurs de température et luminosité	p20
<b>SUIVI DE L'ECOSYSTEME ALPIN</b>	p21
Objectif	p21
Principe	p21
<b>COMPORTEMENT A AVOIR SUR LE TERRAIN ET SÉCURITÉ</b>	p22
<b>AU CHALET- PROTOCOLE COMMUNICATION</b>	p24
Objectif	p24
Principe	p24
<b>TRAITEMENT DES DONNÉES DE TERRAIN</b>	p25
Objectif	p25

Principe	p25
<b>TRAITEMENT DES PRÉLÈVEMENTS BIOLOGIQUES</b>	p26
<b>Préparation des échantillons de poils</b>	p26
Objectif	p26
Principe	p26
<b>Établir la formule sanguine des individus capturés</b>	p27
Objectif	p27
Principe	p28

## INTRODUCTION

L'aventure du Projet Marmotte Alpine a débuté en 1990 suite à une demande du Parc National de la Vanoise qui souhaitait acquérir des connaissances sur la marmotte alpine, afin de résoudre les conflits entre agriculteurs et marmottes, résultant des dégâts occasionnés par cette dernière dans les prairies de fauche. Des discussions ont donc été entamées entre l'équipe de recherche et l'organisme de gestion et de protection de la nature. Du fait de l'abondance des marmottes, de son accessibilité et de la présence d'un chalet aménagé, la Réserve Naturelle Nationale de la Grande Sassièra a été choisie comme site d'étude.

A l'époque, les connaissances sur la marmotte alpine étaient rudimentaires. C'est pourquoi, les premières études se sont attachées à décrire les comportements, la structure sociale et la structure spatiale de l'espèce. Il a ainsi pu être déterminé que la marmotte alpine est une espèce sociale vivant en famille élargie sur un territoire bien défini; chaque famille étant composée d'un couple d'individus dominants monogames et d'un nombre variable d'individus subordonnés des deux sexes. De ces premières recherches ont découlé des recherches sur la physiologie de l'hibernation, le comportement, les traits d'histoire de vie et la dynamique des populations, avec comme thématiques actuelles : l'évolution de la monogamie, l'évolution de la socialité, la sénescence et l'impact du changement climatique sur la dynamique des populations.

Il a ainsi pu être mis en évidence que la marmotte est l'un des rares mammifères monogames. Cependant, à l'instar de ce qui est observé chez les oiseaux, la monogamie sociale, lorsqu'elle existe est rarement associée à la monogamie génétique. Chez la marmotte alpine, mâles et femelles dominants forment des couples sociaux qui peuvent perdurer pendant de nombreuses années. Et si la monogamie génétique est prépondérante, elle n'est pas absolue. En effet, nos travaux indiquent qu'environ 20% des portées contiennent des jeunes qui ne sont pas ceux du mâle dominant et que 10% des jeunes ne sont pas engendrés par le mâle dominant du groupe. Ces découvertes ont fait naître différents questionnements, notamment pourquoi cette paternité hors couple existe.

Il a également pu être mis en évidence que la marmotte est confrontée au processus de vieillissement ou sénescence. Bien qu'omniprésente, la sénescence est un processus fabuleusement complexe et étonnamment variable d'une espèce à l'autre et d'un individu à l'autre. Nos recherches actuelles cherchent à connaître la part des facteurs génétiques, des facteurs environnementaux, des conditions à la naissance ou encore du contexte social à l'origine de ces variations. Les recherches cherchent également à savoir quelles théories évolutionnistes pourraient expliquer ces variations. Les premiers résultats à ce sujet ont montré des différences marquées entre les sexes. Du fait de leur statut et de leur rôle au sein du groupe familiale les mâles ont tendance à vieillir plus tôt que les femelles. Par exemple, les mâles dominants doivent à la fois monopoliser la reproduction et défendre leur territoire contre les intrus. Lorsqu'ils vieillissent, leur masse diminue ce qui réduit leur capacité à maintenir leur statut de dominant. Un tel phénomène n'est pas observé chez les femelles dominantes. Ces recherches s'intéressent également au rôle que peut jouer la socialité dans les processus de sénescence. C'est-à-dire, les facteurs sociaux pouvant influencer sur les composantes du succès reproducteur des individus, que sont la taille de portée, le poids de chacun des jeunes à la naissance et le poids de la portée.

Enfin, à l'heure actuelle, les changements climatiques représentent la plus grande menace qui pèse sur la biodiversité. Ils se manifestent par une augmentation des températures moyennes et une augmentation des accidents climatiques (événements extrêmes: tempêtes, inondations...). A l'échelle planétaire il est difficile d'en prédire les conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes, puisque ces changements ne sont pas uniformes sur l'ensemble de la planète. Cependant, de même que les récifs coraliens et les mangroves, les écosystèmes montagnards sont particulièrement vulnérables aux changements climatiques. Des études ont montré que les changements climatiques sont particulièrement marqués dans les Alpes. L'augmentation moyenne des températures est, par exemple, deux fois supérieure à celle observée dans l'hémisphère nord. Une augmentation des précipitations en hiver et une diminution de ces dernières en été est également observée. Il en résulte une diminution de la durée et de la hauteur du manteau neigeux sur l'ensemble de l'Arc Alpin, un retrait accéléré de la plupart des glaciers ainsi qu'une dégradation du permafrost alpin.

Les conséquences des changements climatiques ne sont pas sans effets sur les espèces. Ils provoquent la fragmentation des habitats, la modification de l'aire de répartition des espèces et la disparition des espèces les plus sensibles. On observe déjà des modifications de certains traits phénotypiques (masse corporelle) et phénologiques (séquence temporelle des événements du cycle de la vie), une diminution des effectifs, voire des extinctions locales. Les espèces alpines sont des espèces spécialistes, très adaptées au climat montagnard. De ce fait, elles vont être d'autant plus sensibles aux variations climatiques de leur milieu, ce qui en fait des espèces sentinelles.

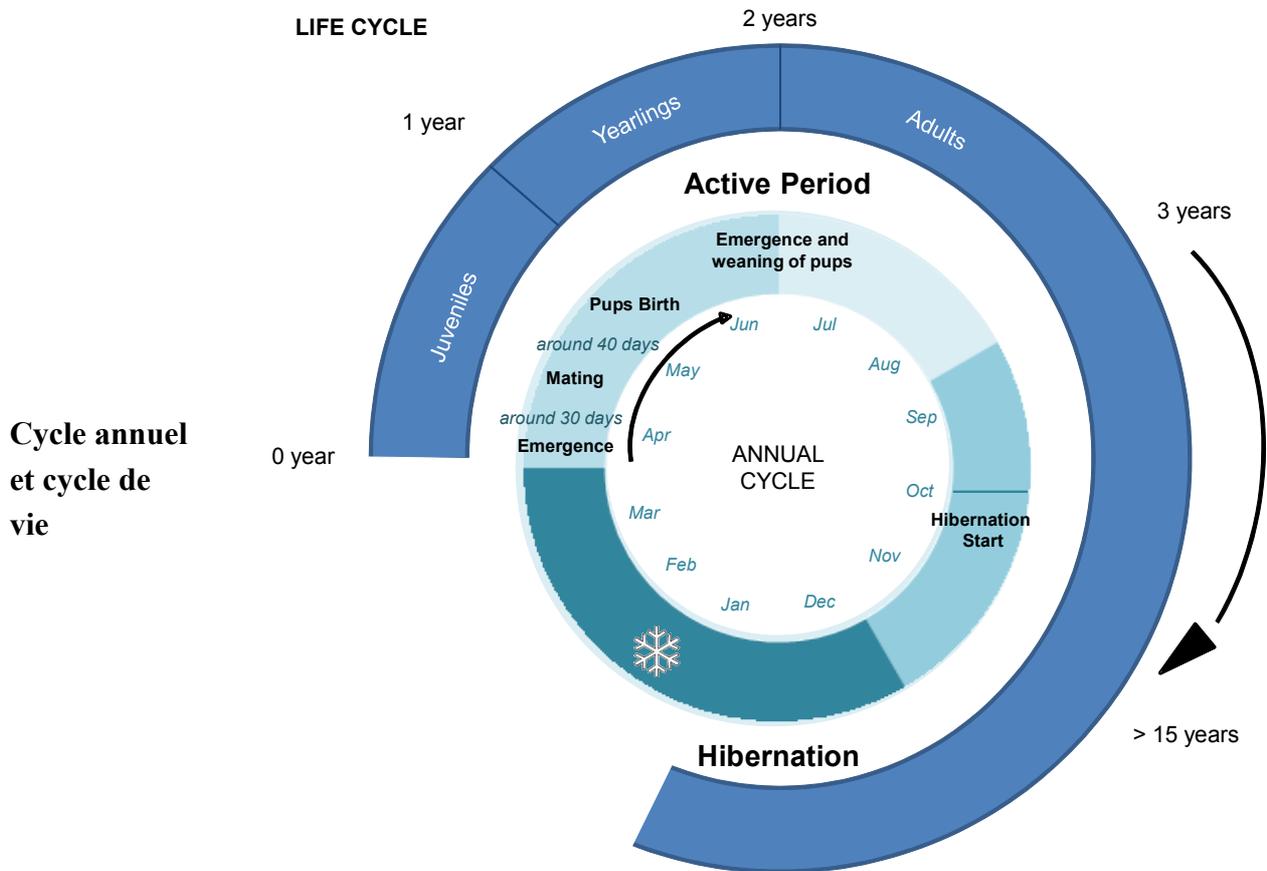
Dans un tel contexte, les écosystèmes et les espèces alpines doivent bénéficier d'une surveillance étroite, afin de comprendre et prédire l'impact des changements climatiques sur la dynamique des populations. C'est dans ce contexte que le projet marmotte alpine a un rôle majeur à jouer, tant d'un point de vue scientifique que sociétal, afin d'assurer la protection des espèces et des habitats menacés. Un des principaux objectifs du « Projet Marmotte Alpine » est donc d'étudier les conséquences écologiques du changement climatique sur les populations alpines, en utilisant comme modèle la marmotte alpine. Pour ce faire, nous cherchons à mettre en évidence les liens entre paramètres climatiques (température, précipitations, etc...) et processus démographiques.

# PRÉSENTATION DU MODÈLE BIOLOGIQUE – LA MARMOTTE ALPINE

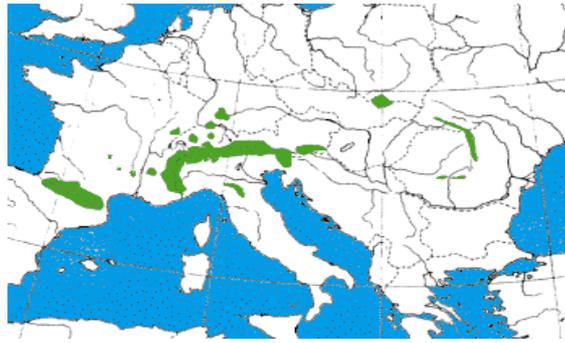
<b>Nom latin</b>	<i>Marmota marmota</i>
<b>Nom commun</b>	Marmotte alpine
<b>Longueur</b>	45-68 cm
<b>Masse</b>	2.2-6.5 kg



©Marie-Léa Travert



**Distribution** La marmotte alpine occupe l'ensemble de l'arc alpin, de la France à l'ouest, jusqu'à la Slovénie à l'est (carte 1). En France, elle est présente dans toutes les Alpes, mais aussi dans les Pyrénées et le Massif Central où elle a été introduite.



Carte 1: Distribution actuelle de la marmotte alpine (en vert)

---

**Habitat**

La marmotte alpine occupe les pelouses et les prairies alpines et subalpines entre 800 et 3000 mètres d'altitude.

---

**Organisation sociale**

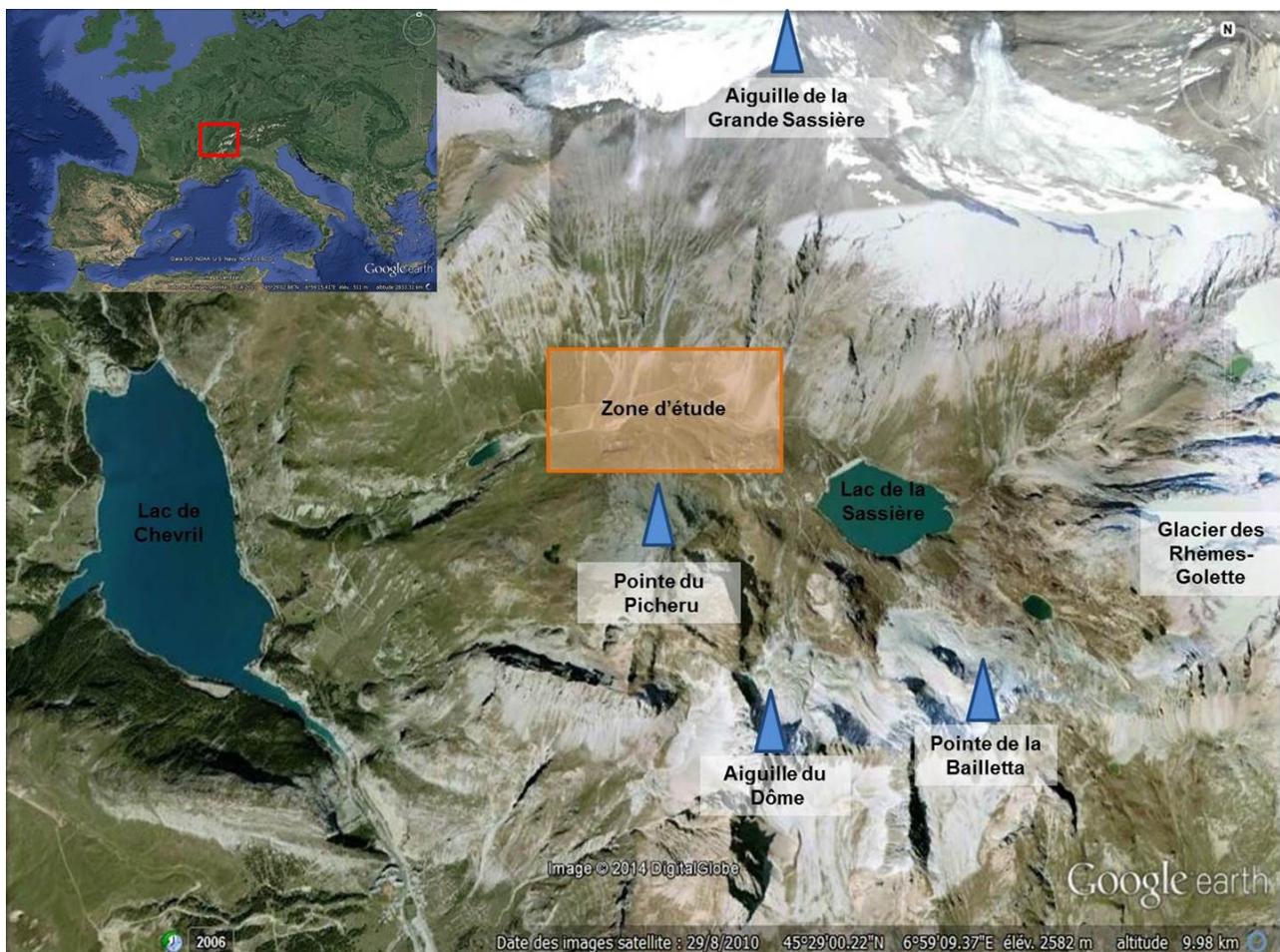
La structure sociale de la marmotte s'organise autour de la famille. Un groupe familial est composé d'un couple d'adultes dominants, d'un nombre variable d'adultes subordonnés mâles et femelles, de juvéniles et de marmottons. Seul le couple de dominant se reproduit.

Tous les individus d'une même famille vont occuper un territoire moyen de 2,5 ha, dont les limites varient peu d'une année sur l'autre. Le territoire comprend un terrier principal, des terriers secondaires et des latrines.

---

## PRÉSENTATION DU SITE D'ÉTUDE - LA RÉSERVE NATURELLE NATIONALE DE LA GRANDE SASSIÈRE

Située dans la vallée de la Haute-Tarentaise, sur la commune de Tignes, la Réserve Naturelle Nationale de la Grande Sassièrre fut créée le 10 août 1973 en compensation d'une réserve déclassée pour l'aménagement de remontées mécaniques sur le domaine skiable de Tignes. Depuis cette date, elle est gérée par le Parc National de la Vanoise. Elle s'étend sur 2230 hectares, délimités au sud par l'Aiguille de la Grande Sassièrre, au nord par l'Aiguille du Dôme et à l'est par le glacier de Rhêmes-Golette (carte 2).



Carte 2: Localisation du site d'étude

Dotée d'un climat alpin et de sols extrêmement variés qui s'étendent entre 1800 et 3750 mètres d'altitude, la Réserve Naturelle Nationale de la Grande Sassièrre abrite une faune et une flore riche et diversifiée. Célèbre pour son imposante population de marmottes, elle abrite des populations importantes de plusieurs espèces emblématiques des Alpes, telles que le bouquetin (photo 3), le chamois (photo 4), l'aigle royal (Photo 5) ou encore le gypaète barbu (Photo 6).



Photo 3 :Bouquetin



Photo 4 :Chamois



Photo 5 :Aigle Royal



Photo 6 :Gypaète barbu

La flore présente sur la Réserve n'est pas en reste, puisqu'on y retrouve plus de 20 espèces rares (photos,7,8,9 et 10), dont douze protégées au niveau national et huit au niveau régional.



Photo 7 :Edelweiss



Photo 8 :Ancolie des Alpes



Photo 9 :Panicaud des Alpes



Photo 10 :Androsace

Malgré la protection intégrale du site, la Réserve Naturelle Nationale de la Grande Sassièrre bénéficie d'un arrêté qui autorise la poursuite du pastoralisme sur la partie basse du vallon. Par conséquent, un pâturage bovin est présent pendant la saison chaude (photo 11).

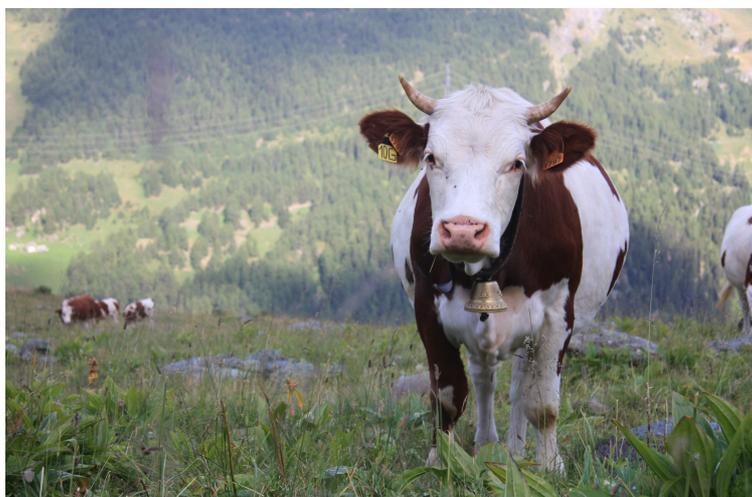


Photo 11: Vache de race Abondance dans les Alpées

# SUIVI SCIENTIFIQUE DE LA POPULATION DE MARMOTTES ALPINES

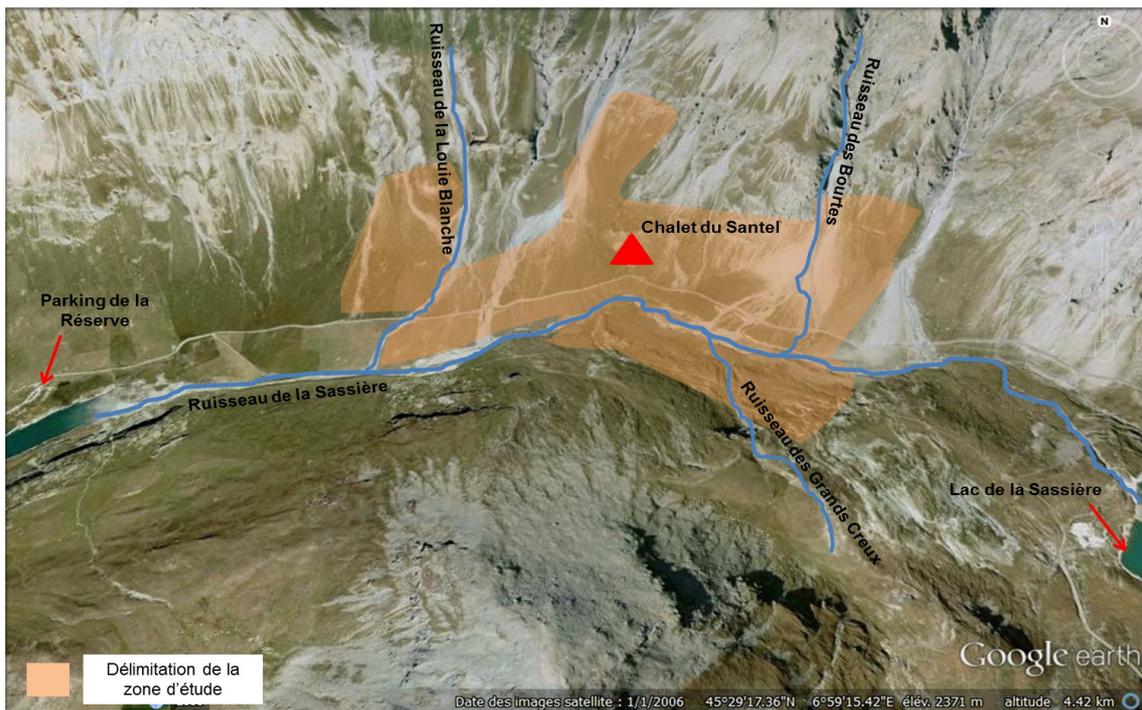
## Historique

Depuis 1990, vingt-six familles de marmottes sont suivies chaque année, soit un total de plus de 1300 individus identifiés. Actuellement, la base de données est riche de plus de 3500 captures pour lesquelles sont recensées l'identité de l'individu capturé, son sexe, son âge, ses caractéristiques morphologiques et les prélèvements effectués. Cet outil essentiel est encore trop rare pour les espèces sauvages, bien que permettant de répondre à de nombreuses questions sur les marmottes et les relations qui existent entre elles et leur environnement.

Depuis 2012, des volontaires Earthwatch nous rejoignent et nous aident à collecter et à traiter les données.

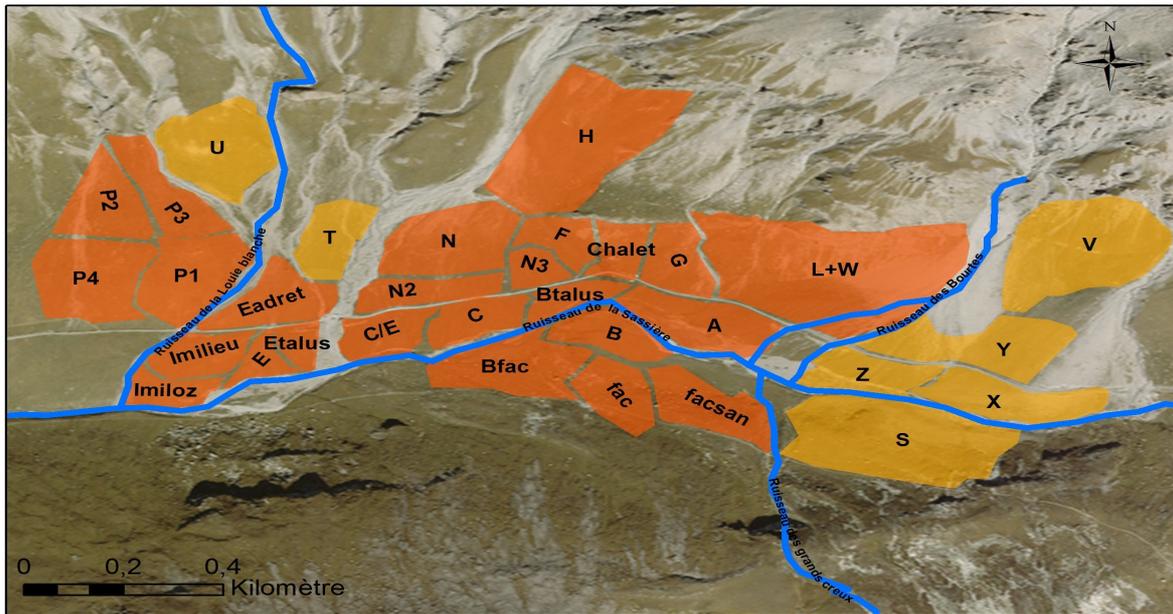
## Zone d'étude

La zone où les familles de marmottes sont étudiées se situe dans la partie ouest de la Réserve de la Grande Sassièrre, à une altitude de 2350 m et s'étend sur environ 40 ha autour du chalet du Santel. Elle est parcourue par quatre torrents (carte 3) : deux torrents, l'un coulant d'est en ouest et l'autre du nord au sud, divisent la zone d'étude, deux autres torrents, coulant du nord au sud, limitent la zone d'étude.



Carte 3: Limites actuelles de la zone d'étude

Sur la zone d'étude, la structure spatiale des territoires est précisément connue et remise à jour annuellement. La population semble avoir atteint la saturation spatiale: six nouveaux territoires ont été créés par fractionnement de territoires préexistants entre 1990 et 2013.



Carte 4: Carte actuelle des territoires

Sur les différents territoires, les terriers principaux forment de gros monticules de terre (photo 12) constitués d'une entrée principale et d'entrées secondaires périphériques.



Photo 12: Terrier principal vu de l'extérieur

**Activité 1- PROTOCOLE CAPTURE - Reconnaissance des terriers et des territoires (carte des territoires de marmottes).**

# PROTOCOLE DE CAPTURE-MARQUAGE-RECAPTURE

## Objectif

Un protocole de capture-marquage-recapture a pour objectif premier de suivre les individus tout au long de leur vie. Il permet d'acquérir trois paramètres démographiques capitaux, que sont la survie, la reproduction et la dispersion des individus. De plus, il permet de suivre la dynamique de la population.

Dans un second temps, la capture des individus permet de réaliser diverses mesures et prélèvements biologiques, essentiels à l'acquisition d'informations comme, la croissance des individus, leur état sanitaire, leur état physiologique, leurs caractéristiques génétiques, les relations d'apparentement entre individus....

Les captures sont réalisées chaque année suivant le même protocole durant la période de reproduction, c'est-à-dire de la mi-avril (période où les marmottes sortent de l'hibernation) jusqu'à la mi-juillet (fin de l'émergence des marmottons). Cette période est la seule où les marmottes sont susceptibles d'être capturées. Au-delà, leur capture se révèle impossible, du fait qu'elles se désintéressent totalement des appâts.

## Étape 1 – Capturer

### Les captures à l'aide de pièges

Les captures sont réalisées à l'aide de pièges à double entrées (Figures 1 et 2). Les pièges sont placés sur chaque territoire dans l'immédiate proximité des terriers principaux.

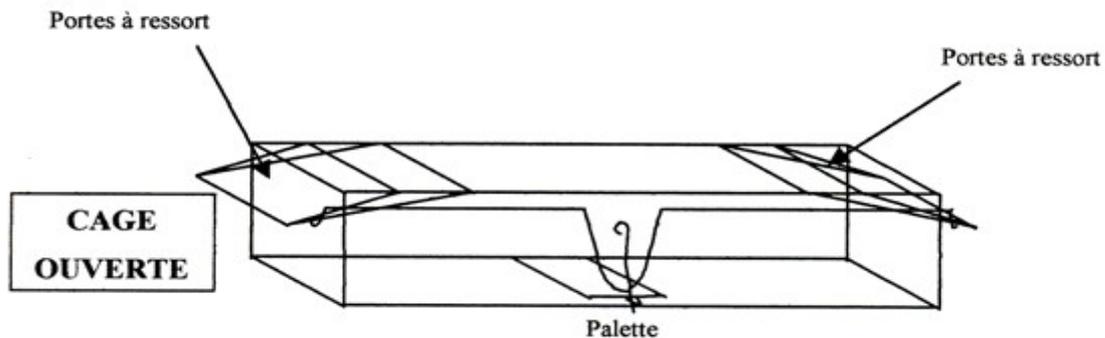


Figure 1 : Cage ouverte

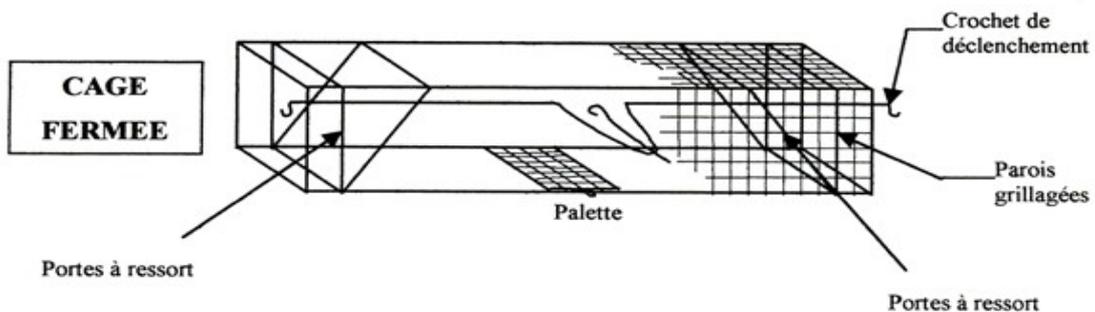


Figure 2 : Cage fermée

Chaque matin les pièges sont ouverts et appâtés avec des pissenlits placés sur la palette localisée au milieu de la cage. En entrant dans la cage pour manger les pissenlits, les marmottes marchent sur la palette et déclenchent la fermeture des portes.

### ***Activité 2 – PROTOCOLE CAPTURE - Collecter les pissenlits***

### ***Activité 3 – PROTOCOLE CAPTURE - Appâter les pièges***

Une fois armés, les pièges sont relevés toutes les demi-heures en conditions normales (météorologie clémente). Si les conditions météorologiques se dégradent (pluie, neige), les pièges sont relevés immédiatement dès l'apparition de l'événement climatique, et ce jusqu'à ce que l'ensemble des individus suivis soit rentré dans leur terrier.

### ***Activité 4 – PROTOCOLE CAPTURE - Surveiller les pièges***

#### **Les captures à la main**

Cette méthode, réservée aux marmottons, consiste à réaliser un affût sur le terrier de naissance (photo 13 et 14) et à saisir à la main tous marmottons émergeant. Cette technique, extrêmement efficace (jusqu'à une dizaine de marmottons capturés par jour) permet de cibler les marmottons capturés et ainsi de capturer les portées complètes dans un laps de temps réduit, optimisant la qualité des données et minimisant le dérangement occasionné. Néanmoins, elle n'est efficace que sur des marmottons encore « naïfs », c'est-à-dire dans les quelques jours suivant leur première sortie à l'air libre lorsqu'ils sont encore inféodés à leur terrier de naissance.



Photo 13 et 14 : Méthode de capture des marmottons

## Étape 2 – Marquer

### Identification

Chaque nouvelle marmotte capturée bénéficie d'un marquage unique qui va garantir l'identification de l'animal tout au long de sa vie. Pour ce faire, trois types de marquages sont employés sur les marmottes alpines. Le premier marquage consiste à injecter un **transpondeur** (photo 15 et 16) sous la peau de l'animal. Pas plus gros qu'un grain de riz, chaque transpondeur porte un code alpha-numérique unique de 16 caractères maximum et est placé sous l'épiderme de la marmotte entre les deux omoplates. Il s'agit de puces électroniques passives dont la lecture se fait par réflexion à l'aide d'un émetteur-lecteur placé à moins de 30 cm de l'individu. Leur lecture nécessite donc la capture de l'individu.

Des **bagues auriculaires métalliques numérotées** (photo 17 et 18) sont placées sur l'oreille droite des individus femelles et sur l'oreille gauche des individus mâles. Ces marques peuvent être lues à l'aide d'une longue vue si l'individu se trouve à une distance inférieure à 20 mètres. Leur lecture nécessite donc la recapture de l'individu dans la plupart des cas. La durée de vie moyenne de ces marques est supérieure à deux ans.

Enfin, des marques colorées sont également utilisées (photo 19 et 20). La première est une bague auriculaire, placée sur l'oreille gauche des individus femelles dominantes et sur l'oreille droite des individus mâles dominants. Il permet de différencier les individus dominants des subordonnés.

Un second marquage coloré est réalisé à l'aide d'une bombe de peinture (photo 21) pour animaux domestiques. Le symbole individuel utilisé recouvre une partie du corps de l'animal et est extrêmement efficace pour une reconnaissance visuelle à distance. Par contre, la durée de vie de la teinture n'excède pas les deux mois.

En plus de ces identifications, un prénom est donné à chaque nouvel individu.

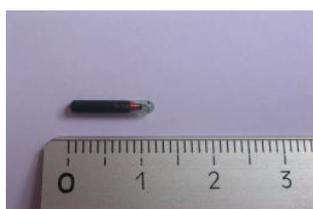


Photo 15:  
Transpondeur



Photo 17 : Bague auriculaire  
métallique

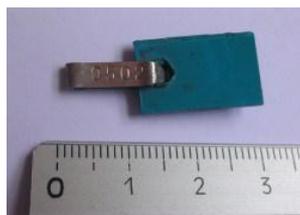


Photo 19 : Bague auriculaire  
colorée



Photo 21 : Marquage coloré  
à la bombe



Photo 16 :  
Pose de transpondeur



Photo 18: Individu avec une  
bague auriculaire métallique



Photo 20 : Individu avec une  
bague auriculaire colorée

**Activité 5- PROTOCOLE CAPTURE- Signaler tous les individus portant un marquage coloré (fiche 1)**

**Caractérisation**

**Sexe**

Lorsque les individus sont capturés, ils sont sexés. Lorsque l'on a l'animal en main, il est facile de différencier le mâle de la femelle. En effet, il suffit de regarder la distance ano-génitale. Chez le mâle l'anus est distant de l'urètre (photo 22), alors que chez la femelle l'urètre paraît « collé » à l'anus (photo 23).



Photo 22 : distance ano-génitale chez le mâle



Photo 23 : distance ano-génitale chez la femelle

### *Age*

Quatre classes d'âges sont identifiées dans le projet :

	<b>Marmottons</b>	<b>Yearling</b>	<b>Sub-adultes</b>	<b>Adultes</b>
<b>Classe d'âge</b>	De la naissance à 12 mois	De 6 à 12 mois	De 12 à 24 mois	Plus de 2 ans
<b>Taille moyenne (en cm)</b>	24	38	46	48
<b>Poids moyen (en gr)</b>	524	1860	3100	3719
	 Photo 24 : Marmotton	 Photo 25 : Yearling	 Photo 26 : Adulte	

### *Statut social*

Lorsque les individus sont capturés, leur statut social est déterminé. Les individus dominants vont se différencier des subordonnés car il présente un scrotum bien visible chez le mâle (photo 27) et des tétines visibles et bien développées chez la femelle (photo 28). En plus de ces caractéristiques, les individus dominants développent des glandes odorantes glabres au niveau des joues.



Photo 27 : Scrotum bien développé chez le mâle dominant



Photo 28 : Tétines bien développées chez la femelle dominante

### **Mesures biométriques**

Tout d'abord, chaque individu est **pesé** (photo 29) avec un peson de pêche. Ensuite, plusieurs **variables biométriques** sont mesurées telles que la longueur totale (photo 30) mesurée à l'aide d'un mètre ruban, puis, la longueur des pattes antérieures (photo 31), des postérieures (photo 32), la longueur de la mandibule (photo 33), la largeur de la tête au niveau des zygomatics (photo 34) et la largeur du bassin (photo 35), toutes mesurées avec un pied à coulisse.



Photo 29 : Pesée



Photo 30 : Longueur totale



Photo 31 : Longueur patte antérieure



Photo 33 : Mesure de la mandibule



Photo 34 : Largeur de la tête



Photo 32 : Longueur patte postérieure



Photo 35 : Largeur du bassin

### **Prélèvements biologiques**

Quatre types de prélèvements sont réalisés sur les marmottes : des prélèvements de sang (photo 36), de poils (photo 37), de tissu cutané (photo 38) et de sécrétions odorantes (photo 39).

Le sang est prélevé en vue de dosages hormonaux, de dosages isotopiques, de dosages de métabolites et de dosages de molécules chimiques ainsi que pour la caractérisation du profil immunologique des individus.

Les échantillons de poils et de peau vont servir à réaliser des analyses génétiques, des dosages hormonaux et des dosages isotopiques. Les analyses génétiques visent à établir la généalogie des individus et la structure génétique de la population.

Trois types de sécrétions odorantes sont prélevés, des sécrétions anales, buccales et jugales. Ces prélèvements vont permettre de caractériser les différentes molécules odorantes sécrétées par les marmottes pour communiquer entre elles lors des marquages du territoire ou des reconnaissances individuelles.



Photo 36 : Prélèvement sanguin  
©C et D Favre-Bonvin



Photo 37 : Échantillonnage de poils  
©C et D Favre-Bonvin



Photo 38 : Prélèvement de peau  
©C et D Favre-Bonvin



Photo 39 : Prélèvement de sécrétions odorantes  
©C et D Favre-Bonvin

### Étape 3 – Relâcher

Une fois l'ensemble des manipulations terminées, l'animal est replacé au calme dans son sac de capture afin qu'il se réveille. Puis, il est transporté dans un sac sur le territoire où il a été capturé et relâché à l'entrée du terrier principal.



Photo 40 : Marmotte relâchée dans le terrier après manipulations

### *Activité 6– PROTOCOLE CAPTURE- Relâcher*

# PROTOCOLE D'OBSERVATIONS COMPORTEMENTALES

## Objectif

La structure sociale de la marmotte alpine s'articule autour du groupe familial. Un groupe familial est constitué d'un couple dominant qui monopolise la reproduction ou tentent de la monopoliser, d'individus subordonnés sexuellement matures mais qui ne se reproduisent pas, d'immaturs d'un an et de marmottons de l'année. La marmotte alpine présente un degré de socialité élevé. En particulier, les marmottes d'un même groupe familial coopèrent entre elles pour la défense du territoire ou encore pour l'élevage des jeunes.

La connaissance de la taille et de la composition (en âge, en sexe et en termes de parenté) des groupes familiaux a pour objectif d'évaluer les bénéfices et les coûts associés aux caractéristiques des groupes familiaux, notamment sur la survie et la reproduction des individus. Par exemple, ces observations permettent de quantifier les coûts de la compétition pour la reproduction entre dominants et subordonnés, mais aussi les bénéfices apportés par la présence d'individus subordonnés sur le succès reproducteur du couple dominant.

## Suivi de la taille et de la composition des groupes familiaux

Le premier type d'observations a pour objectif d'établir avec exactitude le nombre, le statut social, l'âge et le sexe des individus constituant un groupe familial, soit:

- l'identité des individus dominants,
- le nombre de mâles subordonnés de deux ans et plus,
- le nombre de femelles subordonnées de deux ans et plus,
- le nombre de mâles subordonnés de un an,
- le nombre de femelles subordonnées de un an

Pour cela, le matin, par binôme, à l'aide de jumelles et d'une longue vue, chaque famille doit être observée régulièrement lorsque les individus sortent du terrier principal. Chaque individu est identifié grâce à sa ou ses marques auriculaires ou encore à la teinture qu'il porte. Le sexe des individus est déterminé grâce aux bagues auriculaires métalliques que les **G**arçons portent à l'oreille **G**auche et que les **D**ames portent à l'oreille **D**roite. Les individus dominants sont identifiés grâce aux marques auriculaires colorées. Les mâles dominants portent cette bague à droite et les femelles dominantes à gauche. Le couple dominant peut également être identifié grâce à son comportement territorial particulier : le marquage du territoire. Ces derniers ont en effet tendance à marquer régulièrement leur territoire en se frottant la joue contre des « objets » tels que des pierres ou des monticules de terre. Les individus subordonnés voient leur âge déterminé en fonction de leur taille. Ces observations permettent également de connaître les frontières de chaque territoire.

## *Activité 7– PROTOCOLE COMPTAGE (fiche 2)*

## **Suivi des événements de reproduction**

Ce deuxième type d'observation a pour objectif de suivre les événements de reproduction et ainsi d'établir avec exactitude la date où les marmottons sortent pour la première fois du terrier familial. Ces données permettent d'obtenir la date d'émergence des marmottons pour chaque groupe étudié, ainsi que le nombre de marmottons produit par famille.

Pour cela, par binôme, à l'aide de jumelles (10x50 ) et d'une longue vue (20x60), pendant la période habituelle d'émergence des marmottons soit de mi-juin à mi-juillet, tous les terriers de chaque territoire sont passés en revue chaque matin et chaque après-midi.

***Activité 8 – PROTOCOLE REPRO – Date d'émergence (fiche 3)***

***Activité 9– PROTOCOLE REPRO – Comptage des marmottons (fiche 4)***

***Activité 10 – PROTOCOLE REPRO – Vidéo des marmottons***

## Expériences comportementales - Test du phénomène du « Dear Enemy »

Par ailleurs, des expériences comportementales sont réalisées dans le but de mieux comprendre l'organisation sociale des groupes familiaux ainsi que les interactions entre les différents individus et groupes familiaux.

En effet, la marmotte alpine est une espèce dite territoriale, c'est à dire que les membres d'un groupe familial vont vivre sur et défendre un espace défini, chassant les individus étrangers au groupe familial qui s'introduiraient sur cet espace. Le mâle et la femelle dominante utilisent les sécrétions odorantes produites par leurs glandes jugales pour marquer les frontières de leur territoire ainsi que leurs terriers principaux et signaler ainsi aux intrus que cet espace est déjà occupé.

Or, défendre un territoire est coûteux en temps et en énergie. Il est donc attendu qu'un individu réagisse plus fortement à l'intrusion d'un individu dominant voisin qu'il sait avoir son propre territoire et qui représente donc une menace limitée que face à l'intrusion d'un individu dominant inconnu dont il ne sait pas s'il possède son propre territoire ou non et qui représente donc une menace importante. Cet ajustement du comportement est connu sous le nom de phénomène du « Dear Enemy ».



Photo 41 : glande jugal

Des expériences comportementales sont donc conduites afin de tester si, en effet, chez la marmotte alpine, les réactions des individus dominants des deux sexes diffèrent en présence de marques d'un individu dominant voisin et d'un individu dominant inconnu. Pour cela, deux tubes en verre vierges, imprégnés de l'odeur d'un individu dominant voisin ou de l'odeur d'un individu inconnu sont présentés aux individus dominants de chaque territoire suivi. Au cours de chaque expérience, les comportements des individus dominants face à chacun des deux tubes sont filmés, puis analysés.



Photo 42 : imprégnation de l'odeur d'un individu étranger sur un tube test



Photo 43 : Mise en place des tubes olfactifs sur un territoire étudié



Photo 44 : Observation des individus étudiés

### Activité 11 – PROTOCOLE DEAR ENEMY – Expériences comportementales

Une fois les comportements enregistrés sur vidéo, ceux-ci sont analysés.

***Activité 12 – PROTOCOLE DEAR ENEMY – Analyse vidéo étape 1***

***Activité 12 – PROTOCOLE DEAR ENEMY – Analyse vidéo étape 2***

***Activité 12 – PROTOCOLE DEAR ENEMY – Analyse vidéo étape 3***

***Activité 13 – PROTOCOLE DEAR ENEMY – enregistrement des vidéos***

## SUIVI DES CONDITIONS CLIMATIQUES

### Objectif

Vingt ans après le premier Sommet de la Terre en 1992, la conférence Rio+20 réaffirme que les changements climatiques représentent la plus grande menace du XXIème siècle. Le milieu alpin compte parmi les écosystèmes les plus menacés (IPCC 2007, European Environment Agency 2009) et les changements du climat observés dans les Alpes sont sans précédents. Les principales modifications du climat conduisent à: (1) une augmentation des températures plus de deux fois supérieure à la moyenne observée dans l'hémisphère Nord avec des températures moyennes dans les Alpes qui pourraient augmenter de 3°C à 6°C d'ici à 2100 ; (2) une diminution de la durée et de l'épaisseur du manteau neigeux dans l'ensemble de l'arc Alpin, (3) une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes (épisodes orageux, sécheresses).

De plus, les espèces de montagnes sont des espèces présentant un fort degré de spécialisation à leur milieu. Ce degré de spécialisation s'accompagne d'une faible capacité d'ajustements aux variations du milieu conférant une sensibilité toute particulière aux changements climatiques. Conformément aux prédictions théoriques, les résultats récents, concernant directement la population de marmottes alpines de la réserve naturelle de la Grande Sassière, montrent un déclin du nombre de jeunes produits au cours de ces 20 dernières années lié à un plus faible manteaux neigeux au cours de l'hiver en lien direct avec les changements climatiques.

Dans ce contexte les chercheurs se doivent de comprendre l'impact des changements climatiques, enjeu majeur tant d'un point de vue scientifique que sociétal, afin d'assurer la protection des espèces et des habitats menacés. Le projet "Marmotte Alpine" représente le seul programme à long terme de suivi d'un mammifère mené par le CNRS et une université sur le territoire métropolitain et à ce titre une opportunité unique d'apporter des réponses aux questionnements actuels. Pour cela, il est indispensable non seulement de continuer à enregistrer les paramètres caractérisant la population de marmottes alpines mais également d'enregistrer les paramètres climatiques nécessaires à la caractérisation des conditions environnementales subies par les marmottes alpines.

### La station météorologique

Dans ce contexte, un projet d'installation d'une station météo est en cours (photo 45). Cette station météorologique sera installée à proximité immédiate du chalet du Santel. Elle permettra d'enregistrer à l'aide de capteur homologué par Météo France:

- vitesse et direction du vent,
- rayonnement solaire,
- température de l'air et du sol,
- humidité relative,
- quantité de précipitation,
- durée de précipitation,
- hauteur de neige.

L'énergie nécessaire sera fournie par un panneau solaire. L'enregistrement des mesures se fera conformément aux recommandations de Météo France, soit un enregistrement par minute intégré sur différents pas de temps en fonction des paramètres considérés. Les données seront

envoyées quotidiennement vers les serveurs informatiques du laboratoire Biométrie et Biologie Évolutive.

### Les enregistreurs de température et luminosité

Depuis 2011, des enregistreurs de température et de luminosité de type « HOBO Pendant Temperature/Light Data Logger 64K - UA-002-64 » (photo 46) sont également mis en place au niveau des terriers principaux des différentes familles étudiés. Ceux-ci sont placés dans un trou creusé à l'entrée des terriers principaux (photo 47) de chaque groupe familial et enregistrent, sur un pas de temps horaire, la température et de la luminosité durant 14 mois. Ces données renseignent sur les conditions climatiques locales subies par les marmottes et de manière indirecte sur les dates de début et de fin d'hibernation de chaque groupe familial.



Photo 45 : Modèle de station météorologique prévu pour la Sassièrè



Photo 46 : Enregistreur de température et de luminosité horaire



Enregistreur de température « HOBO »

Photo 47 : Enregistreur de température et de luminosité horaire

**Activité 14 – PROTOCOLE RECUPERATION ET POSE DES ENREGISTREURS- étape 1 enlèvement (fiche 5)**

**Activité 14 – PROTOCOLE RECUPERATION ET POSE D'ENREGISTREURS- étape 2 pose (fiche 5)**

## SUIVI DE L'ECOSYSTEME ALPIN

### Objectif

Le suivi de l'écosystème alpin s'intéresse à la phénologie, c'est-à-dire à la chronologie d'événements périodiques déterminés par les variations saisonnières du climat. En effet, les cycles de vie des plantes et des animaux sont non seulement directement liés aux changements saisonniers de la température et de la lumière du jour mais également fortement dépendants des conditions météorologiques. Ce suivi vise à mesurer l'impact des changements climatiques sur les différentes étapes du cycle de vie comme la floraison ou la fructification chez les plantes ou comme la reproduction chez les animaux.

Dans un contexte de changements climatiques, les milieux extrêmes comme les écosystèmes alpins, vont être d'autant plus sensibles à ces changements. Il est donc important de suivre le déroulement du cycle de vie des espèces alpines en réponse à ces changements climatiques. Dans ce cadre, plusieurs espèces végétales et animales font l'objet de suivis hebdomadaires afin de mesurer les réponses au sein d'une espèce, mais aussi de comparer les variations de ces réponses entre espèces.

*Activité 15 -PROTOCOLE PHÉNOCLIM (fiches 6 et 7)*

*Activité 16 -PROTOCOLE PHÉNOPIAF (fiche 8)*

*Activité 17- PROTOCOLE PHÉNOZOO- Protocole observation de la grenouille rousse (fiche 9)*

*Activité 18- PROTOCOLE PHÉNOZOO- Protocole observation de la chrysomèle (fiche 9)*

## **COMPORTEMENT A AVOIR SUR LE TERRAIN ET SÉCURITÉ**

### **Restez sur le chemin et tenez-vous éloignés des territoires**

Bien que familières, les marmottes restent des animaux sauvages. Afin que l'étude perturbe au minimum leurs activités journalières, merci de rester le plus possible sur le chemin et de ne pas stationner près des territoires.

Pour ne pas déranger les marmottes et les observer de plus près, des jumelles et longues vues sont mises à votre disposition.

Ces recommandations sont également à prendre en compte lorsque vous faites des activités qui ne sont pas directement liées aux marmottes (Phénoclim, pose de logeurs...). Pour chacune des activités auxquelles vous participez assurez-vous bien de minimiser votre temps sur les territoires.

### **Regardez attentivement les noms des territoires et leurs localisations (assurez-vous de suivre la bonne famille)**

**Soyez très vigilant lors de vos observations et retenez bien le nom et l'emplacement du territoire sur lequel vous êtes en train de travailler. Qu'il s'agisse des captures, des observations, des expérimentations ou de l'enregistrement des variables climatiques, il est primordial de connaître le territoire sur lequel vous travaillez.**

**Pour cela, un réel effort de concentration et de rigueur vous est demandé.**

### **Relations à avoir avec les touristes**

De nombreux touristes fréquentent la Réserve. Certains peuvent vous interpeller et vous questionner sur votre présence et vos activités dans la Réserve. N'hésitez pas à leur expliquer ce que vous faites et pourquoi.

### **Faites attention aux serpents, aux insectes, aux plantes...**

Afin de limiter le plus possible les morsures de serpents ou d'insectes, il est conseillé de porter des chaussures montantes et d'être vigilant en regardant bien où vous posez vos pieds et vos mains. Par exemple, ne posez pas vos mains sur des zones où vous n'avez aucune visibilité (trous, pierres...), cela évitera ainsi toutes possibilités de morsures ou de piqûres. Évitez également de monter sur les pierriers, endroits réputés pour abriter de nombreux serpents venimeux (photo 48). Soyez également vigilant lorsque vous marchez autour du chalet, de nombreuses plantes urticantes y sont présentes (photo 49).



Photo 48 : Vipère aspic



Photo 49 : Ortie commune

### **Coups de soleil, déshydratation, faim...**

Attention au coup de soleil. Il est indispensable de prévenir d'éventuels coups de soleil en appliquant régulièrement une crème protectrice adaptée, type écran total.

Attention aux rayons de soleil sur la neige et en montagne! Plus on gagne en altitude, plus les rayons du soleil sont néfastes, même par temps couvert. Il est donc indispensable de se protéger avec un chapeau ou une casquette afin d'éviter les insulations. Portez également des lunettes de soleil adaptées, qui doivent impérativement vous protéger des UV et couvrir l'intégralité de vos yeux. Lors des journées très ensoleillées, pensez à boire régulièrement afin de ne pas être victime de déshydratation. Pensez également à vous préparer une collation la veille au soir et à l'avoir avec vous sur le terrain afin d'éviter tous malaises liés à l'activité physique.

Sur le terrain apportez toujours un sac avec vous dans lequel vous mettrez des vêtements chauds (gants, bonnet, écharpe, veste de pluie, polaire, une paire de chaussettes supplémentaire...). En montagne les conditions météorologiques changent très rapidement et l'on peut être surpris par le froid ou la pluie.

### **Pentes raides, glissantes, rochers...**

Pensez également à porter des chaussures adaptées à la montagne. Par temps humide et neigeux, le terrain peut être glissant. Si vous éprouvez des difficultés, des bâtons de marche peuvent être mis à votre disposition. Demandez-les à un membre de l'équipe.

# AU CHALET

## PROTOCOLE COMMUNICATION

### Objectif

Le Projet Marmotte Alpine se veut à la fois un projet scientifique mais également un projet participatif. Dans le but d'informer et d'impliquer les amoureux de la montagne et le grand public en général, nous mettons en place des campagnes de communication à travers notre site internet: <http://projetmarmottealpine.org/> et notre page facebook: <https://www.facebook.com/thealpinemarmotproject>.

Nous souhaitons également à travers ces deux moyens de communication, faire part des recherches menées ainsi que des découvertes qui en découlent. La recherche ayant une image souvent abstraite, rébarbative et inaccessible au grand public. Ces supports médiatiques sont un moyen de mettre en avant le projet marmotte alpine, de rendre la recherche accessible à tous, à travers des petits reportages, des résumés, des photographies. Ils permettent de faire connaître notre projet et de promouvoir les recherches qui sont menées en son sein. Ils pourront également être utilisés afin de collecter des fonds et ainsi pérenniser le projet “marmotte alpine” sur le long terme.

### Principe

Pour cela, nous souhaitons résumer les articles scientifiques afin que les résultats soient accessibles à tous.

De plus, à chaque fin de semaine, nous aimerions publier un petit résumé de nos activités de terrain accompagné de photographies.

Nous avons également comme projet de réaliser une page “wikipédia” destinée à présenter et à promouvoir le projet marmotte alpine.

***Activité 19 – PROTOCOLE COMMUNICATION – Photoreportage***

***Activité 20 – PROTOCOLE COMMUNICATION – Actualisation de la page facebook***

***Activité 21 – PROTOCOLE COMMUNICATION – Vulgarisation d'articles scientifiques***

## TRAITEMENT DES DONNÉES DE TERRAIN

### Objectif

Dans le cadre de nos recherches, il est essentiel de garder des traces de l'ensemble des données collectées sur le terrain, puisqu'elles sont utilisées pour tous les programmes de recherche et par tous les chercheurs et les étudiants. Pour cela, après chaque journée de terrain, il est essentiel de rentrer les données recueillies sous informatique. Ces données sont la base indispensable permettant de répondre à toutes les questions biologiques concernant la marmotte alpine.

### Principe

Les données de capture sont répertoriées dans deux fichiers, le fichier “capture” et le fichier “structure famille”.

Dans le fichier nommé “Capture YYYY” figurent toutes les données relatives aux différents individus capturés une année donnée. A chaque ligne du fichier correspond un individu capturé un jour donné. Dans chacune des colonnes sont répertoriées l'ensemble des informations notées sur sa feuille de capture remplie sur le terrain.

Dans le fichier nommé “ structure famille YYYY” figurent toutes les données relatives à la composition annuelle de chaque groupe familial de marmottes. Chaque feuille du fichier représente un territoire donné et les lignes de chacune des feuilles correspondent aux différentes années de suivi.

***Activité 22 – PROTOCOLE SAISIE – Fichier capture (fiche 11)***

***Activité 23– PROTOCOLE SAISIE – Structure des familles (fiche 12)***

# TRAITEMENT DES PRÉLÈVEMENTS BIOLOGIQUES

## Préparer les échantillons de poils

### Objectif

Les poils prélevés sur les marmottes lors des captures servent à obtenir de l'ADN. L'ADN est utilisé dans de nombreuses analyses, telles que les tests de parenté, permettant de connaître le degré de filiation entre individus.

Lors de la reproduction, chacun des deux parents va transmettre à son petit une copie/allèle de ses gènes via les gamètes. Bien qu'un parent transmette tous ses gènes à son enfant, il ne transmet, pour un gène donné, qu'une des deux copie/allèles qu'il porte. Lors de la formation de la cellule œuf par fusion du gamète mâle et du gamète femelle, une cellule diploïde est obtenue. Cette cellule porte alors deux copies/allèles de chaque gènes et sa composition allélique est remaniée, ce n'est ni celle du père, ni celle de la mère, mais un mélange des deux. Par exemple, si pour le gène X le père était homozygote  $Xa/Xa$ , et la mère homozygote  $Xb/Xb$ , alors l'enfant sera hétérozygote  $Xa/Xb$ , car chaque parent aura donné une copie/allèle du gène X. Le génotype d'un petit est donc le résultat du mélange d'une partie du génotype du père et de la mère. Sachant ce mode de transmission de gènes et d'allèles (transmission mendélienne), il est possible en examinant les gènes des individus de déterminer les relations de parentés existant entre eux.

Chez tous les individus, certaines portions d'ADN vont coder pour des gènes et d'autres non. Parmi ces séquences non codantes, des séquences de nucléotides vont se répéter à l'identique, le nombre de répétitions étant très variable d'un individu à l'autre (entre 5 et 50 répétitions suivant les individus). Ces séquences répétées sont appelées "microsatellites". Le nombre de répétitions de ces microsatellites, caractéristique d'un individu, s'hérite de la même manière que les allèles d'un gène.

Après avoir obtenu le génotype de chaque individu, soit le nombre de répétitions pour plusieurs microsatellites, les génotypes de différents individus, par exemple les génotypes des marmottons et des deux dominants d'un même groupe familial, sont comparés, afin d'établir les relations de parenté.

### Principe

Le génotypage de toutes les marmottes capturées passe par l'obtention d'ADN. Dans notre cas, l'ADN est extrait à partir d'un échantillon de poils prélevé sur un individu donné. En effet, le bulbe racinaire de chaque poil contient de l'ADN. L'ADN est obtenu après destruction des éléments composant les bulbes racinaires des poils, tels que les tissus, les protéines et les peptides, puis séparation de l'ADN et de ces éléments. Pour chaque microsatellite, des amorces correspondant aux séquences flanquantes, communes aux différents individus à étudier d'un microsatellite donné sont hybridés avec l'ADN obtenu. Le fragment d'ADN compris entre les amorces et correspondant au microsatellite est alors amplifié par PCR. La taille des différents produits amplifiés (correspondant aux différents allèles du microsatellite) est alors évaluée par migration sur un gel d'acrylamide. Cette opération est répétée pour 17 microsatellites différents et chez chaque marmotte capturée. Les génotypes obtenus sont ensuite comparés afin d'établir les liens de parentés entre les individus.

Par exemple, sur la figure 3, dans chaque cas, on voit bien que les enfants possèdent des allèles présents chez au moins un des deux parents.

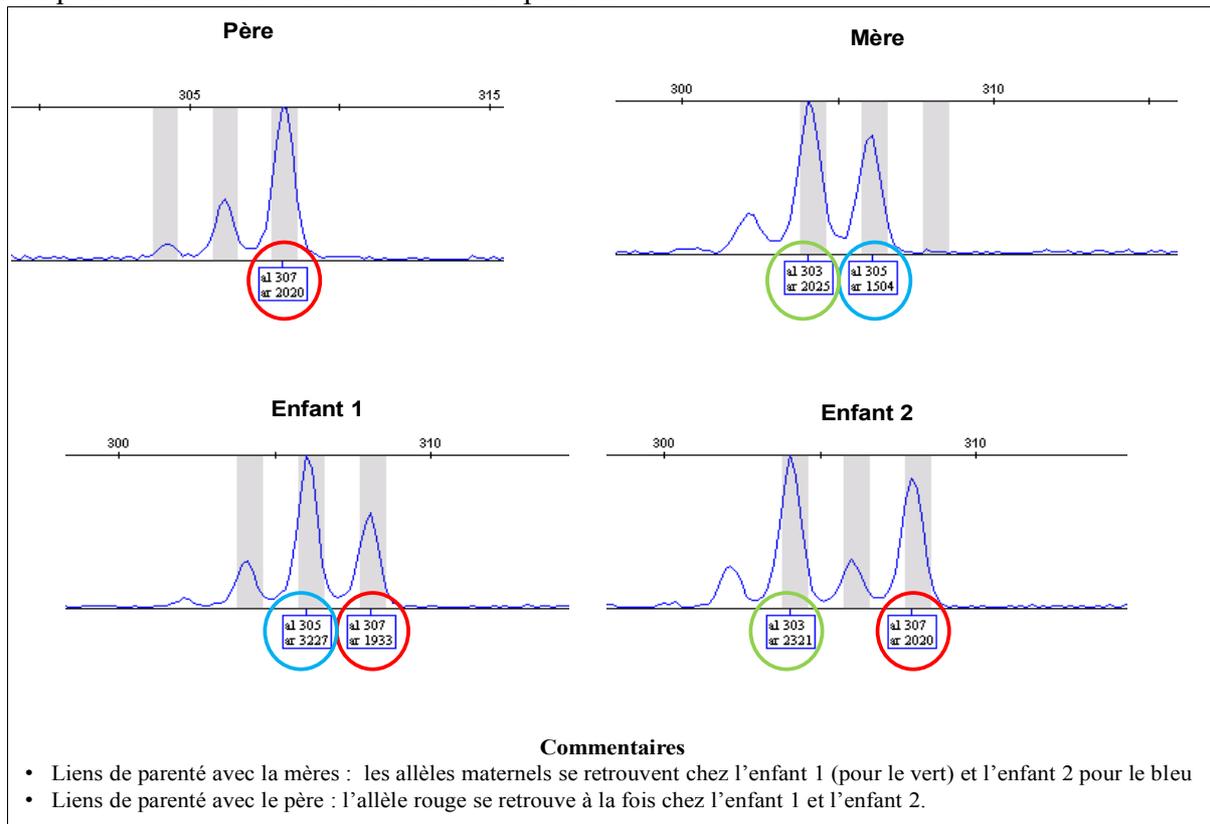


Figure 3: migration sur gel

**Activité 24 – PROTOCOLE POILS – Préparer les échantillons pour les analyses génétiques (fiche 13)**

## **Établir la formule sanguine des individus capturés**

### **Objectif**

Les prélèvements sanguins réalisés sur les marmottes ont pour objectif d'établir un bilan de santé de chaque individu. Une première étape consiste à établir pour chaque individu sa formule sanguine complète. La formule sanguine complète ou hémogramme consiste en l'analyse quantitative (numération) et qualitative (formule) des éléments qui composent le sang, tels que les globules rouges (érythrocytes), les globules blancs (leucocytes) et les plaquettes. Les globules rouges ou érythrocytes sont les cellules sanguines les plus nombreuses chez les vertébrés. Chez les mammifères, ils interviennent dans le transport de l'oxygène ( $O_2$ ) vers les différents tissus de l'organisme. Les globules rouges prennent l'oxygène dans les poumons, l'acheminent à travers le système circulatoire via le flux sanguin pour le libérer ensuite dans les tissus.

Les globules blancs ou leucocytes sont produits par la moelle osseuse. Il en existe plusieurs types : les granulocytes, les lymphocytes et les monocytes. Chacun d'eux joue un rôle important au sein du système immunitaire en participant à la protection contre les maladies infectieuses, les virus et les corps étrangers.

L'objectif de la numération manuelle des globules est de déterminer la concentration sanguine en globules rouges, globules blancs et plaquettes. Cette numération est complétée par la mesure du taux d'hématocrite et l'analyse des frottis sanguins. Le taux d'hématocrite correspond à la proportion de globules rouges ou érythrocytes contenus dans le sang par rapport au volume total du sang. Après coloration, les frottis sanguins vont également permettre de dénombrer les différents types de globules blancs. En cas d'infection ou de réaction inflammatoire, le nombre de leucocytes circulant augmente considérablement.

Dans une autre mesure, les frottis sanguins permettent également de repérer d'éventuels parasites sanguins.

### **Principe**

Pour cela, une simple prise de sang suffit. Les échantillons prélevés sur les individus lors des captures sont mis en présence d'un tampon. L'échantillon sanguin est ensuite plus ou moins dilué selon la concentration attendue des globules à dénombrer. La concentration des globules rouges attendue est plus importante que la concentration des globules blancs et la concentration des globules rouges attendue est particulièrement élevée chez la marmotte alpine comme chez de nombreux mammifères vivants en altitude.

Ensuite le sang dilué est placé dans un dispositif spécifique utilisé pour le comptage des globules : l'hématimètre, sur lequel est disposée une lamelle. L'hématimètre est quadrillé (figure 4), ce qui permet une numération directe, précise, en donnant des repères visuels, évitant ainsi le double comptage d'une même cellule. L'hématimètre est placé sous un microscope et une photo de la disposition des globules dans l'hématimètre est prise, afin de faciliter le travail.

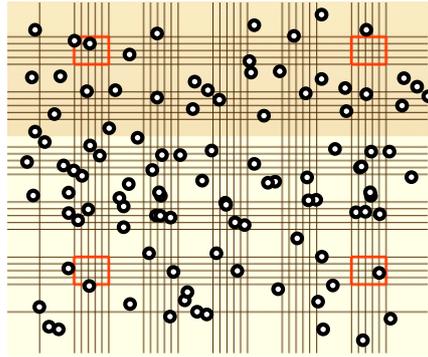


Figure 4: cellules sur hématimètre observées au microscope

Le nombre de globules peut alors être compté sur la photo et ensuite comparé au volume de comptage, ce qui permet d'obtenir la concentration de chaque type de globules étudié.

***Activité 25 – PROTOCOLE NUMERATION – Établir la formule sanguine des marmottes-étape 1 (fiche 14)***

***Activité 25 – PROTOCOLE NUMERATION – Établir la formule sanguine des marmottes-étape 2***